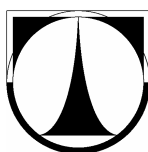


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program M 2301 - Strojní inženýrství



Studijní obor: 2302T010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Sklářské a keramické stroje

Zařízení pro automatickou kontrolu adheze držáku zpětného zrcátka

Mechanism for an automated adhesion inspection of a car rear-view mirror holder

KSR –

Ondřej Matúšek

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. František Novotný, CSc.

Konzultant diplomové práce: Ing. Marcel Horák, Ph.D.

Rozsah diplomové práce:

Počet stran:	60
Počet tabulek:	6
Počet obrázků:	26
Počet výkresů:	10

Datum odevzdání: 27. 5. 2011

Anotace

Předkládaná práce řeší nový způsob 100% kontroly adheze používaných typů držáků zpětného zrcátka čelního automobilového skla. Kontrola není dosud ve výrobě realizována. Bylo úkolem zkonstruovat zařízení pro on-line kontrolu nalepení konektorů přímo na výrobní lince. S ohledem na technické a dispoziční možnosti je zařízení začleněno do výrobní linky. Vybraná varianta testovacího zařízení je konstrukčně zpracována v příložené výkresové dokumentaci.

Klíčová slova:

Čelní automobilové sklo, držák zpětného zrcátka, testovací zařízení

Annotation

This thesis presents an absolute adhesion inspection of a car rear-view mirror holder. This inspection has not been used in automotive-glass production yet. The objective was to construct a device which would be able to do that on-line in working process. With respect to technical and dispositional possibilities this purposed mechanism is placed into the production line. The selected version is processed in details in supplemented drawing documentation.

Key words:

Windshield glass, rear-view mirror holder, testing device

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu **doc. Ing. Františku Novotnému, CSc.**, za cenné rady, náměty, odborné vedení a důkladné směřování této práce.

Dále bych rád poděkoval panu **Ing. Marcelu Horákovi, Ph.D.** za poskytnuté informace a vstřícný přístup.

Poděkování si také zaslouží moje rodina, která mě v době celého studia podporovala.

ÚVOD	10
1. SOUČASNÝ STAV A POPIS PROBLEMATIKY.....	11
1.1 VÝROBA ČELNÍHO AUTOMOBILOVÉHO SKLA	12
1.2 DEFINOVÁNÍ PROBLÉMU A URČENÍ POŽADAVKŮ	14
1.3 VÝBĚR UMÍSTĚNÍ.....	14
1.4 TECHNICKÉ PODMÍNKY	19
1.5 VÝBĚR UMÍSTĚNÍ.....	20
1.6 ROZBOR POUŽITÝCH DRŽÁKŮ	22
1.7 SNÍMÁNÍ SCÉNY PRŮMYSLOVOU KAMEROU	25
2. ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ KONCEPCE TESTOVACÍHO PRACOVÍŠTĚ	31
2.1 REALIZACE TORZNÍHO ZATÍŽENÍ	31
2.2 VARIANTY TESTOVACÍHO STANOVÍŠTĚ	33
2.2.1 <i>Výběr umístění</i>	33
2.2.2 <i>Rám</i>	34
2.2.3 <i>Testovací jednotka</i>	35
2.2.4 <i>Varianty vybrané testovací jednotky</i>	38
3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉHO NÁVRHU.....	44
3.1 NÁVRH RÁMU	44
3.2 NÁVRH PROCESU TESTOVÁNÍ	45
3.3 NÁVRH TESTOVACÍ HLAVICE	46
3.4 NÁVRH POHONU	47
3.5 NÁVRH ŘÍZENÍ.....	52
3.6 NÁVRH ZÁCHYTNÉHO BOXU	53
3.7 NÁVRH KAMEROVÉHO SYSTÉMU	53
3.8 KONTROLA NOSNOSTI PŘÍSAVEK	54
3.9 PŘEHLED VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE.....	56
4. ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU A VYUŽITELNOSTI	57
4.1 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ.....	57
4.2 ODHAD NÁKLADŮ	58
ZÁVĚR.....	59
PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY.....	60

Seznam použitého označení

<u>označení</u>	<u>jednotka</u>	<u>název</u>
Δc	[mm]	celková chyba polohování
$\Delta x, \Delta y, \Delta z$	[mm]	dílčí chyba polohování v jednotlivých osách kartézského souř. systému
q	[-]	opakovatelná přesnost polohování robotu
r	[-]	nepřesnost umístění středu držáku
s	[-]	vliv úhlu natočení držáku
β	[°]	úhel daný geometrií držáku
a, b	[mm]	rozměry držáku
l	[mm]	úhlopříčná velikost držáku
$\Delta x_1, \Delta y_1$	[mm]	nepřesnost opak. polohovatelnosti robotu
$\Delta x_2, \Delta y_2$	[mm]	nepřesnost nalepení středu držáku
$\Delta x_3, \Delta y_3$	[mm]	nepřesnost způsobená natočením držáku
f	[mm]	ohnisková vzdálenost objektivu
F_{TN}	[N]	zátěž na nohy mechanismu
F_{TM}	[N]	tíhová síla mechanismu
F_M	[N]	síla způsobená momentovým zatěžováním
ψ	[rad]	úhel natočení testovací hlavice
t_0	[s]	čas natáčení testovací hlavice
v	[mm]	hodnota volené vůle
n	[1/min]	otáčky testovací hlavice
n_M	[1/min]	maximální otáčky motoru
M_{Mn}	[N·m]	jmenovitý moment motoru
M_{mmax}	[N·m]	maximální moment motoru
J_A	[kg·m ²]	moment setrvačnosti pohonu
m_M	[kg]	celková hmotnost motoru

J_L	[kg•m ²]	moment setrvačnosti zátěže
m_P	[kg]	hmotnost příruby
m_S	[kg]	hmotnost senzoru momentu
m_H	[kg]	hmotnost testovací hlavičky
d_P	[mm]	vnější průměr příruby
d_S	[mm]	vnější průměr senzoru momentu
a_H	[mm]	délka strany čtvercové hlavičky
t_1	[s]	doba rozběhu při dopředném pohybu
t_2	[s]	doba konstantní rychlosti při dopř. pohybu
t_3	[s]	doba brždění při dopředném pohybu
t_4	[s]	doba rozběhu při zpětném pohybu
t_5	[s]	doba konstantní rychlosti při zpět. pohybu
t_6	[s]	doba brždění při zpětném pohybu
t_7	[s]	klidový čas
t_C	[s]	celkový čas
M_1	[N•m]	rozběhový moment
M_2	[N•m]	moment zátěže
M_3	[N•m]	brzdový moment
M_4	[N•m]	rozběhový moment
M_5	[N•m]	moment zátěže
M_6	[N•m]	brzdový moment
M_T	[N•m]	testovací moment
F_R	[N]	radiální síla
M_K	[N•m]	klopový moment
r_i	[mm]	vzdálenost těžiště součásti
r_t	[mm]	vzdálenost těžiště zátěže
n_i	[1/min]	otáčky v jednotlivých časech
n_{av}	[1/min]	průměrná výstupní rychlost

F_{rav}	[N]	ekvivalentní radiální síla
p_c	[N]	ekvivalentní dyn. radiální zatížení
d_L	[mm]	průměr křížového ložiska
L	[hod]	životnost ložiska
m_{Sk}	[kg]	hmotnost skla
F_1, F_2, F_3	[N]	reakce na jedn. přísavkách
F_R	[N]	radiální síla
F_{AX}	[N]	axiální síla
M	[N·m]	testovací moment
F_T	[N]	tíhová síla
F_U	[N]	uchopovací síla
f	[-]	koeficient tření
k	[-]	koeficient bezpečnosti
Δp	[bar]	velikost podtlaku
S	[mm ²]	plocha přísavky
d	[mm]	průměr přísavky

ÚVOD

Námět na téma této práce pochází od společnosti AGC Automotive Czech, a.s., výrobní závod Chudeřice. Jedná se o pobočku mezinárodní společnosti AGC Automotive zabývající se výrobou bezpečnostních skel pro automobilový průmysl a je dodavatelem mnoha významných automobilek. Zpětná zrcátka se v současné době nejčastěji umísťují na čelní automobilové sklo. Každé z těchto skel je osazeno držákem zpětného zrcátka, který je na sklo lepen během výrobního procesu. Toto nalepení není, bohužel, bezchybné, ve výrobě dochází k odlamování držáku při montáži zpětného zrcátka. Z tohoto důvodu vznikla potřeba on-line testování každého vyrobeného kusu. V současnosti se kontroluje pouze náhodně vybrané sklo manuálně, momentovým klíčem.

Úkolem práce bylo navržení budoucího řešení kontroly adheze a její integrace do výrobní linky závodu.

Nejprve byl proveden rozbor současného stavu, kde byla popsána výroba čelního automobilového skla, možnosti instalace testovacího mechanismu a podmínky pro správné a bezchybné testování.

V druhé kapitole bylo provedeno zevrubné zhodnocení formou alternativní studie, kde jsou popsány jednotlivé varianty řešení a proveden výběr varianty nejvhodnější pro konstrukční zpracování.

Třetí kapitola byla věnována konstrukčnímu řešení vybrané varianty. Zde je charakterizován postup návrhu a jsou zde předloženy konstrukční výpočty.

Čtvrtá kapitola uvádí stručné zhodnocení technickoekonomických vlastností navrženého zařízení.

1. SOUČASNÝ STAV A POPIS PROBLEMATIKY

V současné době není ve výrobním procesu 100% kontrola adheze přilepeného držáku zpětného zrcátka dle požadavku zákazníka. Provádí se pouze kontrola náhodně vybraných vzorků a to ručně, pomocí speciálního momentového klíče. Na vnitřní stranu čelního automobilového skla (obr. 1) jsou držáky (obr. 2) aplikovány pomocí robotizovaného pracoviště. V následujícím autoklávovém cyklu jsou držáky za konstantního tlaku a teploty ke sklu finálně přilepeny.



Obr. 1 *Umístění držáku na skle*



Obr. 2 *Typy použitých držáků*

1.1 Výroba čelního automobilového skla

Tato kapitola se zabývá zevrubným popisem výrobního procesu. Podrobněji je také rozepsán proces nalepení držáku zpětného zrcátka čelního automobilového skla a kontroly finálního výrobku.

Výrobní proces

Na začátek linky obsluha dopraví vozíky s plochým sklem. Čelní skla jsou zpravidla složená ze 2 typů skla slepených k sobě PVB folií. Z tohoto důvodu je první část linky dvojitá a úkony probíhají paralelně. Sklo je robotem uchopeno, vyzdviženo z vozíku a následně odloženo na dopravník. Po vystředění přířezu je na CNC strojích vyříznut prvotní tvar okna (2D). Na další pozici je sklo zabroušeno, umyto a osušeno. Následuje potisk vnitřního skla smaltovací barvou a je proveden nástřik emulzí SiO_2 ve vodě, aby bylo zabráněno "slepení". Nakonec jsou skla položena na sebe a vložena do formy na gravitační vytvarování.

Pec gravitačního tvarování je složena ze 3 částí. V první části dochází k předehřevu skel na teplotu přibližně 450°C . V druhé části je proveden samotný ohřev skla až na 750°C . Teploty jsou nastavovány individuálně pro jednotlivé typy skel. Ve třetí části je sklo pozvolna ochlazováno. Cyklus gravitačního tvarování trvá přibližně 15 min a takt pece je zhruba 30 s. Pro případ, že by na lince vznikl problém, je v prostoru za pecí připraven nouzový zásobník. V prostoru za pecí je připraven nouzový zásobník. V případě problému na lince tento zásobník pojme skla z pece, aby se pec nemusela zastavovat.

Skla jsou otočena o 180° , po invertu se rozdělí a před vstupem do oddělení s absolutně čistým prostředím opět prochází myčkou každé zvlášť. Na tomto stanovišti je zároveň laserem odstraněna vrstva irisů v místě dešťového senzoru, tzv. rainsenzoru, pokud je použit. Coatingová vrstva je vodivá a mohlo by dojít ke zkreslení jeho informace. Samotné irisování na této lince neprobíhá, skla jsou již s irisovanou vrstvou dodávána. Mezi skla je ručně vložena a oříznuta polyvinylbutyralová folie (dále jen PVB fólie). Tento proces je jediný na celé výrobní lince, který je prováděn manuálně operátorem. Skla jsou ztavena ve třech bodech, aby při manipulaci vůči sobě nezměnila polohu. V rubber bag furnace – pytlivé peci je sklo nasunuto do plastového vaku a při teplotě $105\text{--}115^\circ\text{C}$ (dle typu vyráběného skla) a za přítomnosti tlaku od vaků (aby ve folii nezůstaly vzduchové bublinky) prvotně "slepí" k sobě a PVB folie začíná být průhledná.

Nalepení držáku

Na další pozici následuje automatické nalepení držáku zpětného zrcátka. Vibračním podavačem jsou držáky ze zásobníku polohovány do vhodného směru. Kamera snímá situaci na desce, která je bílá pro černé držáky anebo černá pro ty stříbrné. Během jedné etapy je vyráběno pouze jedno sklo a lepen jeden typ držáku. Úkolem kamerového systému je tedy jen vyhodnocení orientace držáku. Tato informace je poslána na menší z dvojice robotů zajišťujících nalepení.

V případě lepení PVB fólií je držák přemístěn na indukční desku, kde je nahřán, dojde k nalepení PVB fólie a odložení na dohřívací desku. Odtud je odebrán druhým robotem, zajišťujícím samotné nalepení. Tento robot je vybaven kamerovým systémem, jehož úkolem je korekce polohy nalepení držáku a následná optická kontrola nalepení. Druhý možný způsob lepení je pomocí 3M pásky - oboustranné lepící pásky. Postup je v podstatě totožný, pouze nedochází k ohřevu držáku. Po nalepení a optické kontrole je držák na další pozici znovu indukčně ohřán, dotlačen mechanickým palcem (silou zhruba 1,5 kN) a ochlazen (v případě použití 3M pásky proběhne pouze finální dotlačení). U některých skel poté dochází k nalepení držáku na rainsenzor. V následujícím autoklávovém cyklu jsou držáky za konstantního tlaku a teploty ke sklu finálně přilepeny.

Finální úpravy a kontrola

Po vyjmutí z autoklávu jsou jednotlivá skla robotem odebírána z autoklávového vozíku a střídavě rozdělena mezi dva roboty zajišťující obroušení vyteklé PVB folie a následné zakládání do myčky. Po umytí a osušení je sklo kontrolováno na výskyt optických vad. Nejprve je skenováno zařízením Isra vision, jehož úkolem je odhalit nedostatky v podobě větších i menších prasklin, bublinek či zakalení. Při další kontrole jsou operátorem zjišťována povrchová škrábnutí. Během poslední kontroly, která je prováděna v temném boxu, je zkoumána průsvitnost, vlnitost a výskyt odlesků (obr. 4). Manipulace mezi jednotlivými kontrolami je zajištěna roboty.

Po všech optických kontrolách prochází sklo čtyřmi konečnými pozicemi této linky. Na první pozici jsou odkláněna skla označená některou z kontrol jako špatná, určená k opravě. Na druhé pozici skla označená jako úplně špatná (většinou prasklá nebo jinak

poničená skla) a určená ke střepování. Třetí pozice je prázdná a ze čtvrté jsou hotová skla robotem odebírána a rovnána do vozíku na export. Layout popisované linky je schematicky znázorněn na obr. 3.

1.2 Definování problému a určení požadavků

Na základě definovaného problému je potřeba určit požadavky na testovací zařízení.

Popis problému

Během výrobního procesu může dojít ke špatnému nalepení držáku. To je většinou způsobeno nedostatečným nahřátím (při použití PVB folie), nedostatečným dotlačením po nalepení, případně náhodným vniknutím nečistoty. Pod držákem pak zůstane vzduchová bublina nebo nečistota a držák se pak během nasazování zpětného zrcátka ulomí. V současné době není ve výrobním procesu 100% kontrola adheze přilepeného držáku. Provádí se pouze kontrola náhodně vybraných vzorků, a to ručně, pomocí speciálního momentového klíče.

Požadavky

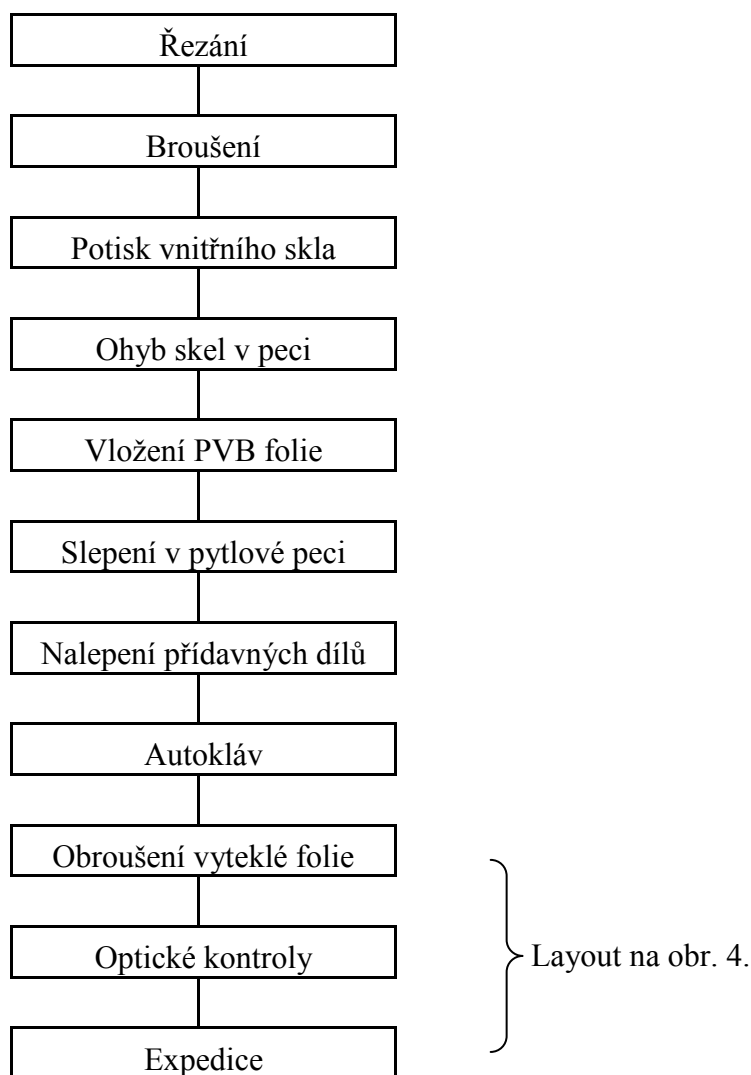
Na základě vzniklého problému se špatným nalepením byl vytvořen požadavek 100% kontroly nalepeného držáku. Navržené řešení by bylo nejlepší integrovat do výrobní linky a nalepení testovat on-line během výrobního procesu. Volené testovací zařízení bude muset splňovat tyto nároky:

- Požadavek 100% kontroly během výrobního procesu;
- Bezpečné uchycení;
- Testování definovaným torzním zatížením;
- Zajištění odstranění odpadlého držáku;
- Variabilita pro více držáků;
- Časový fond 12s.

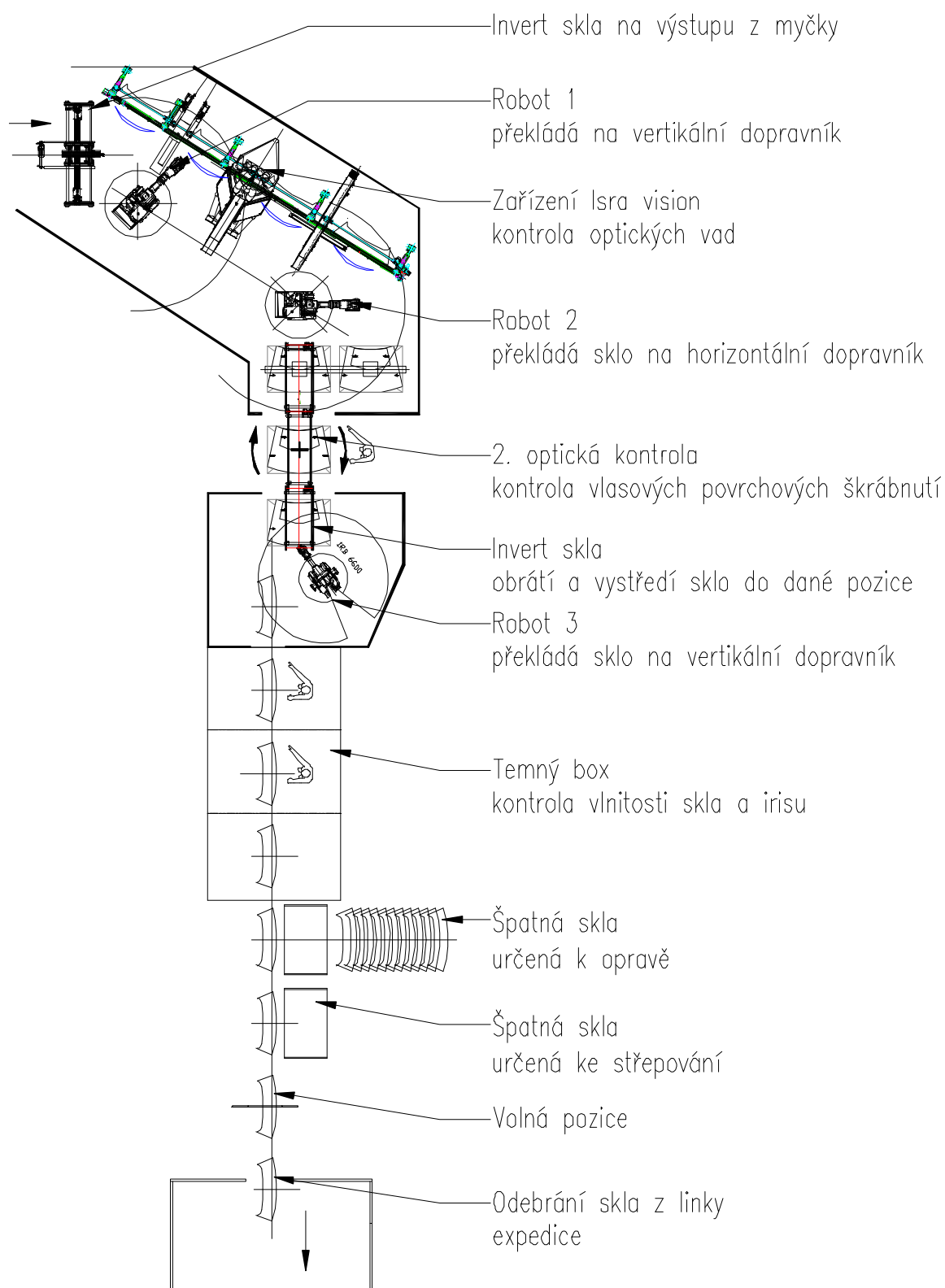
1.3 Výběr umístění

Navrhované zařízení je potřeba umístit na popsanou linku za autokláv (obr. 3) a je vhodné, aby pracovalo v kooperaci s některým z již použitých robotů. Robot zajišťující

odebrání skel z autoklávového vozíku a roboty, které slouží k obroušení vyteklé PVB folie nepřipadají v úvahu, protože jsou nejpomalejšími články linky a určují tak dobu taktu. Budou tedy zvoleny roboty za výstupem ze sušičky. Uvažovaná část layoutu výrobní linky je zobrazena na obr. 4. Potenciální pozice pro umístění navrhovaného zařízení jsou srovnány tak, jak jdou na lince za sebou. Příložené fotografie byly pořízeny se svolením firmy AGC Automotive Czech a jsou považovány za důvěrné.



Obr. 3 Layout linky na výrobu autoskel



Obr. 4 Layout aktuální části linky na výrobu automobilových skel

Robot 1

Prvním uvažovaným robotem je robot zprostředkovávající transfer skla ze sušičky na vertikální dopravník (obr. 5), kde probíhá první optická kontrola zařízením Isra vision. V případě zastavení následující části linky je schopen odebrat skla, která jsou aktuálně v myčce a srovnat je do nouzového zásobníku. Před uchopením je sklo vycentrováno jednoduchým mechanismem. Tato situace je zobrazena na obr. 4.



Obr. 5 *Robot 1*

Robot 2

Druhou možností je robot (obr. 6) přemísťující sklo z vertikálního dopravníku optické kontroly na horizontální dopravník, kde jsou kontrolována vlasová povrchová škrábnutí skla. Na této pozici není sklo nijak centrováno.



Obr. 6 *Robot 2*

Robot 3

Třetí variantou je robot odebírající sklo z horizontálního dopravníku druhé optické kontroly. Zde je sklo jednoduchým mechanismem centrováno a převráceno do vertikální polohy, následně robotem odloženo opět do vertikální polohy. Z tohoto důvodu má tento robot ze všech tří nejkratší dobu činnosti.



Obr. 7 *Robot 3*

Volná pozice

Volná pozice (obr. 8) se nachází za tmavým boxem (poslední optickou kontrolou) na samém konci výrobní linky (obr. 4) Tato předposlední pozice před odebráním disponuje dostatkem volného prostoru, a jelikož na ní není prováděn žádný úkon, tak samozřejmě i velkou časovou rezervou.



Obr. 8 *Volná pozice*

Problémem této pozice je, že skla označená jako špatná, určená k opravě jsou odkláněna už o dvě pozice dříve. Díky této skutečnosti by mohlo dojít k tomu, že by nebyla všechna skla zkontrolována. Tento problém by však řešila možnost ruční kontroly opravených skel. Další nevýhodou této pozice je obtížnější vyřazení vadných skel, i když to by bylo pravděpodobně pouze otázkou softwarové úpravy. Robot je schopen odkládat na 3 pozice, takže do jedné pozice by odkládal pouze skla, která neprošla kontrolou adheze držáku.

1.4 Technické podmínky

Pro výběr dané pozice byly uvažovány tyto technické podmínky: časová rezerva taktu, prostor k zástavbě a centrování skla před odebráním.

Časová rezerva taktu

Při výběru hraje důležitou roli časová rezerva taktu linky u jednotlivých pozic. Z tohoto důvodu byla měřena doba úkonu jednotlivých robotů a zapsána do tabulky 1 níže. Doba taktu není konstantní, mění se s jednotlivými typy skla. Je uvažována nejkratší doba taktu, tj. 12 s.

Tabulka 1 Doba úkonu na jednotlivých pozicích

	Robot 1	Robot 2	Robot 3	Volná pozice
Doba dosavadní činnosti v pozici [s]	7	9	6	0
Doba využitelná pro kontrolu držáku [s]	5	3	6	12

Prostor k zástavbě

Dalším důležitým kritériem je prostor k zástavbě. Pro představu je přiložen obrázek koncové části layoutu (obr 4). Robot 1 má nejméně prostoru, protože je vedle něj umístěn nouzový zásobník, aby byl v případě zastavení následující části linky schopen odebrat skla, která jsou aktuálně v myčce. Nejvíce prostoru má naopak volná pozice.

Centrování skla

Posledním uvažovaným kritériem je přesnost polohy skla. K vystředění skla dochází před odebráním robotem 1 a před odebráním robotem 3. Z toho plyne, že tyto dva roboty jsou pro případnou kooperaci s navrhovaným mechanismem vhodné.

1.5 Výběr umístění

Výběr varianty umístění testovacího zařízení je proveden objektivizační metodou rozhodovací analýzy.

Optimu každého kritéria je přiřazeno 100 bodů ve stobodové stupnici. Pokud je jednotlivé alternativy nedosáhnou, je buď exaktně kvantifikována míra jejich splnění danou alternativou, nebo technickým odhadem ohodnoceny. Míra splnění kritéria je vyjádřena v %, tj. opět ve stobodové stupnici.

Vynásobením prostých hodnot váhou příslušného kritéria dostaneme hodnotu vážené užitnosti. Jejich součet, přes všechna kritéria, vyjadřuje absolutní užitnost každé alternativy.

Relativní hodnotu užitnosti alternativ dostaneme podělením absolutní užitnosti hodnotou maximálního teoreticky dosažitelného počtu bodů (tj. fiktivní alternativa splňující všechna kritéria na 100 %). Relativní hodnota užitnosti pak bývá často vyjadřována opět v % [1].

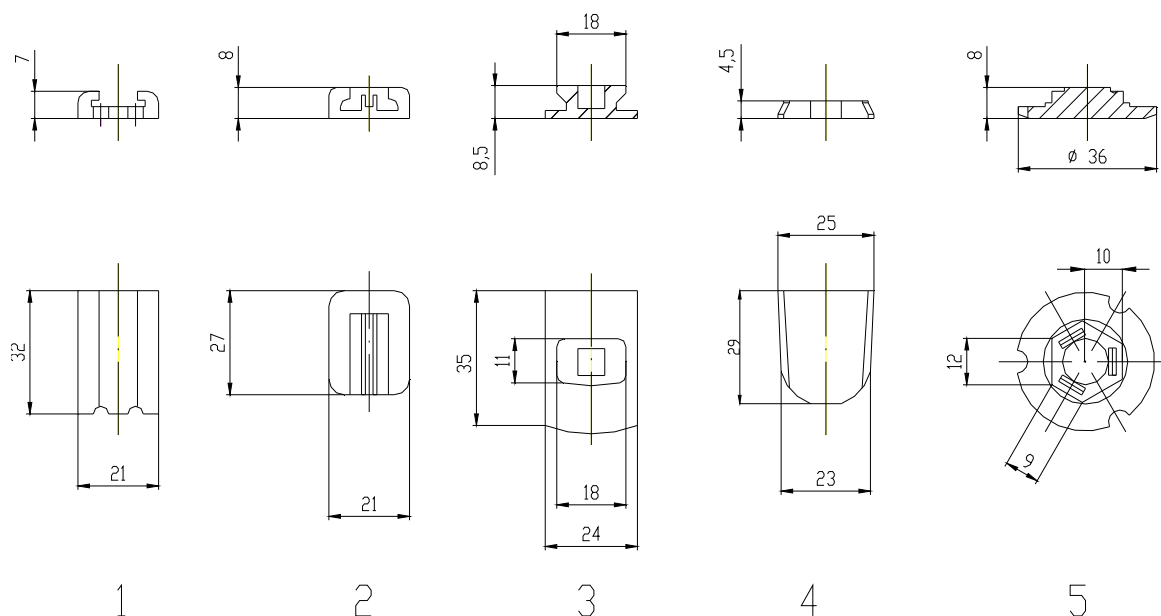
Po vyhodnocení všech aspektů rozhodovací analýzy (tab. 2) vyšlo nejlépe použití robotu 3, které však pouze těsně převýšilo hodnocení volné pozice. Přihlédneme-li však k problémům, které jsou s využitím volné pozice spojeny, je použití robotu 3 nejlepší volbou. Toto místo má největší časovou rezervu, sklo je před odebráním centrováno a pozice disponuje dostatkem prostoru pro zástavbu navrhovaného mechanismu.

Tabulka 2 *Rozhodovací analýza umístění*

Párové srovnání kritérií					Matice užítlosti alternativ									
Poř.	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota X		Robot 1		Robot 2		Robot 3		Volná pozice	
					prostá vážená	prostá vážená	prostá vážená	prostá vážená	prostá vážená	prostá vážená	prostá vážená	prostá vážená		
1	Časová rezerva taktu	3	1	4	100	400	70	280	50	200	80	320	100	400
2	Prostor k zástavbě	2	2	3	100	300	20	60	50	150	70	210	90	270
3	Centrování skla	0	4	1	100	100	100	100	80	80	100	100	50	50
4	Investiční náklady	1	3	2	100	200	70	140	60	120	80	160	0	0
Celkem					1000		580		550		790		720	
Užitnost v relativním vyjádření					100 %		58 %		55 %		79 %		72 %	
Pořadí alternativ podle užítlosti							3		4		1		2	

1.6 Rozbor použitých držáků

Na obrázku 9 je zobrazeno pět používaných držáků zpětného zrcátka s jejich specifickými rozměry. Označení náčrtů odpovídá použitému značení v tabulce 3. Odpovídající výkres je doplněn jako příloha této práce.



Obr. 9 Soubor použitých držáků

Výpočet obálky maximální možné odchylky držáku

Při navrhování úchopných prvků testovacího mechanismu má významný vliv nepřesnost uchycení držáku. Tato kapitola se zabývá právě rozбором daných nepřesností a výpočtem maximální možné nepřesnosti.

Celková chyba polohování je určena odchylkou skutečné a žádané polohy zvoleného bodu při polohování objektu. Její velikost se pak spočítá z rovnice:

$$\Delta c = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad (1)$$

Pro tento výpočet byla uvažována nepřesnost vnesená robotem manipulátorem - opakovatelná přesnost polohování, přesnost nalepení držáku a vliv natočení držáku. Pro výpočet byl zaveden souřadný systém, s počátkem v rohu skla (obr. 10a).

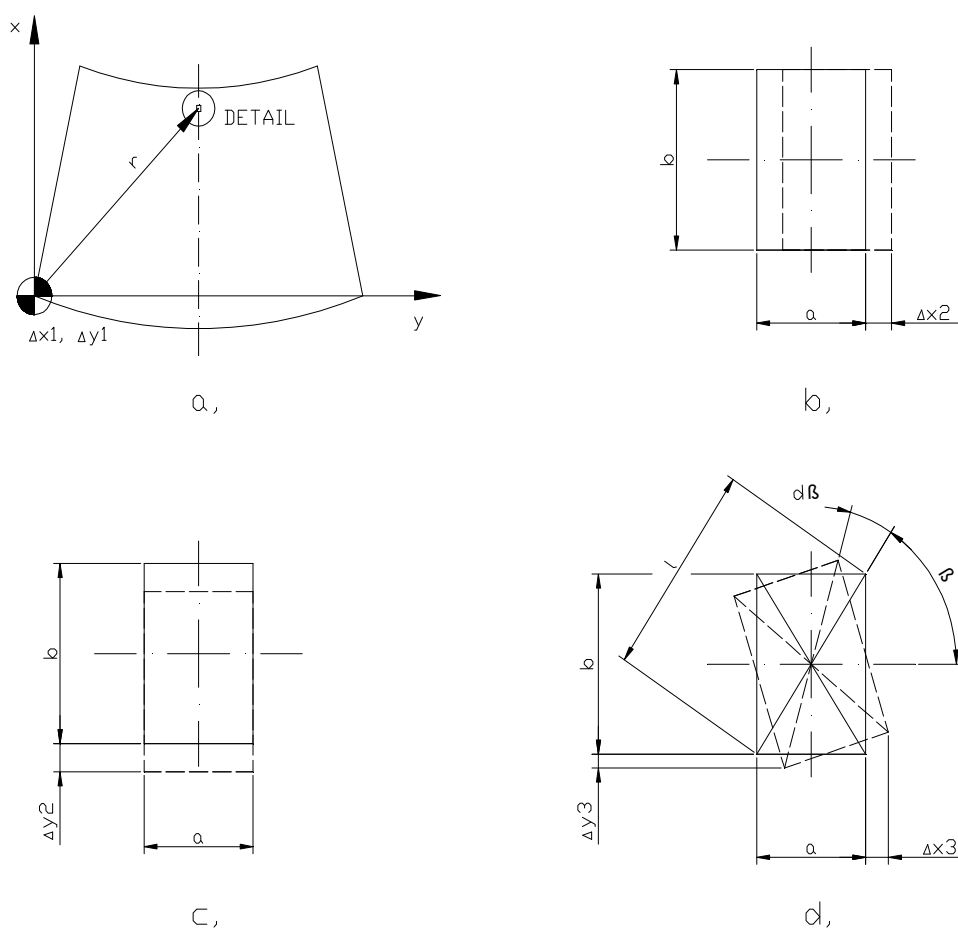
Pro jednotlivé dílčí nepřesnosti v pohybových osách kartézského souřadného systému lze psát:

$$\begin{aligned}\Delta x &= \Delta x(q, r, s) \\ \Delta y &= \Delta y(q, r, s),\end{aligned}\quad (2)$$

kde parametr q je opakovatelná přesnost polohování robotu (obr. 10a), r je nepřesnost středu nalepeného držáku (obr. 10b, c) a s je vliv úhlu natočení držáku (obr. 10d). Pro přibližné vyjádření velikosti souřadnic lze po diferenciaci psát:

$$\Delta x_i = \sum_{i=1}^n \frac{\partial x}{\partial q_i} \cdot \Delta q_i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial x}{\partial r_i} \cdot \Delta r_i + \sum_{i=1}^n \frac{\partial x}{\partial s_i} \cdot \Delta s_i . \quad (3)$$

Obdobně potom pro Δy . Velikost Δz neuvažujeme.



Obr. 10 Výpočet odchylky držáku;

a - poloha držáku na skle; b, c - vliv posunutí v x -ovém a y -ovém směru;

d - vliv natočení držáku

Nepřesnosti přidané natočením držáku byly vypočteny podle následujících vztahů.

Souřadnice x, y voleného rohového bodu jsou rozepsány:

$$x = \cos \beta \cdot l \quad y = \sin \beta \cdot l \quad (4,5)$$

$$dx = -\sin \beta \cdot l \cdot d\beta, \quad dy = \cos \beta \cdot l \cdot d\beta, \quad (6,7)$$

kde výpočtový úhel β a velikost l jsou dány goniometrickými vztahy:

$$\beta = \arctg\left(\frac{b}{a}\right), \quad (8)$$

$$l = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (9)$$

Dosazením do vztahů lze po úpravě získat rovnici pro výpočet nepřesnosti v x-ovém a y-ovém směru:

$$dx_3 = -\sin\left(\arctg\left(\frac{b}{a}\right)\right) \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot d\beta, \quad (10)$$

$$dy_3 = \cos\left(\arctg\left(\frac{b}{a}\right)\right) \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot d\beta. \quad (11)$$

Aby bylo možné do vztahu dosadit přímo stupně, uvažujeme přepočít na radiány:

$$2\pi = 360^\circ \Rightarrow 1^\circ = \frac{\pi}{180}. \quad (12)$$

Výsledná rovnice bude po dosazení:

$$\Delta x_3 = -\sin\left(\arctg\left(\frac{b}{a}\right)\right) \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \frac{\pi \cdot \Delta\beta}{180}, \quad (13)$$

$$\Delta y_3 = \cos\left(\arctg\left(\frac{b}{a}\right)\right) \cdot \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \frac{\pi \cdot \Delta\beta}{180}. \quad (14)$$

Získané hodnoty jsou zapsány v tabulce 3. A, b jsou specifické rozměry držáku. $\Delta x_l, \Delta y_l$ jsou nepřesnosti určené opakovatelnou polohovatelností robotu. Tuto hodnotu neznáme vyjádřenou složkově, ale pouze jako celkovou, proto uvažujeme maximální možnou chybu v každé ose. Systém vymezení polohy a způsob lepení držáku zaručují při

nejvyšších možných rozdílů hodnoty jednotlivých vůlí Δx_2 , Δy_2 a toleranci natočení $\Delta\beta$, ze které lze nepřesnosti Δx_3 , Δy_3 získat výše uvedenými výpočty.

Tabulka 3 *Nepřesnost systému*

Držák	a	b	$\Delta\beta$	$\Delta x_1=\Delta y_1$	$\Delta x_2=\Delta y_2$	Δx_3	Δy_3	Δx	Δy
1	21	32	1	0,1	1,5	0,2	0,3	1,8	1,9
2	21	27	1,5	0,1	2	0,3	0,4	2,4	2,5
3	18	11	1,5	0,1	2	0,2	0,1	2,3	2,2
4	25	30	1,5	0,1	1	0,3	0,4	1,4	1,5
5	20	12	1,5	0,1	1,5	0,3	0,2	1,9	1,8

Do výpočtu nebyly zahrnuty další nepřesnosti, které situaci ještě zhorší. Jedná se o přesnost uchycení skla a vliv úhlové chyby robotu. Tyto hodnoty je velice složité definovat. Největší určená nepřesnost v jedné souřadnici je $\Delta y = \pm 2,5$ mm.

Z tohoto důvodu je uvažována lokalizace držáku průmyslovou kamerou a následná korekce polohy. Ta je provedena po najetí robotu se sklem do daného místa, kde je sklo s držákem lokalizováno a porovnává se s předem definovanou optimální polohou. Do čelistí testovacího mechanismu zajišťujícího zkoušení držáku odpovídajícím momentem je sklo posléze nasunuto už s pootočením a posunutím o dané nepřesnosti.

1.7 Snímání scény průmyslovou kamerou

Z důvodu nutnosti snímání scény bylo připraveno experimentální pracoviště v laboratoři katedry sklářských strojů a robotiky. Úkolem laboratorních testů bylo ověřit možnosti snímání několika typů držáků zpětného zrcátka čelního automobilového skla na skle s černým potiskem a spolehlivě určit jejich polohu.

Primárním cílem bylo nalézt vhodné hardwarové a softwarové řešení detekce. Dalším cílem bylo následně stanovit citlivost navrženého systému na změnu okrajových podmínek. V současné době se na katedře pracuje na vylepšení možnosti snímání.

Použité zařízení a jeho nastavení

Připravené experimentální pracoviště se skládalo z:

- Kamera s plošným senzorem Blaster se specifikací [2]:

Typ kamery:	BASLER A622f
Rozlišení:	1,3 Mpx
Počet snímků za sekundu:	25 fps
Interface:	IEEE 1394
Spektrum:	viditelné
Senzor:	CMOS
Barevná škála:	mono (černobílý obraz)
- Objektivy:

Objektiv FUJION	$f = 12,5$ mm (HF12.5SA-1)
Objektiv FUJION	$f = 25$ mm (HF25HA-1B)
- Osvětlení:

Intenzivní plošné červené světlo (plocha diod 83 x 156 mm),
Souosé červené světlo (75 x 75 mm),
Prstencové osvětlení (\varnothing 100 mm).
- Data byla zpracována s využitím softwaru NI Vision Assistant 8.5.

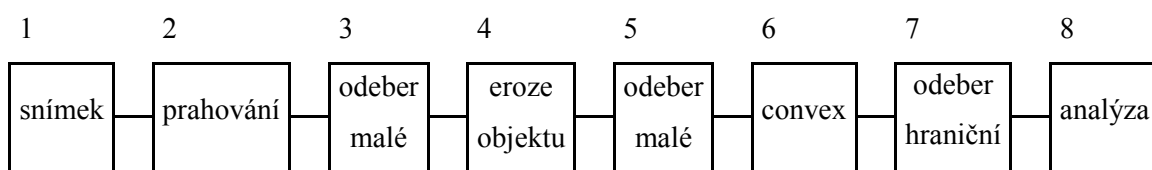
Softwarové nastavení kamery:	brightness – jas:	126
	shutter – uzávěrka:	1700
	gain – koef. zesílení:	200

Popis experimentu

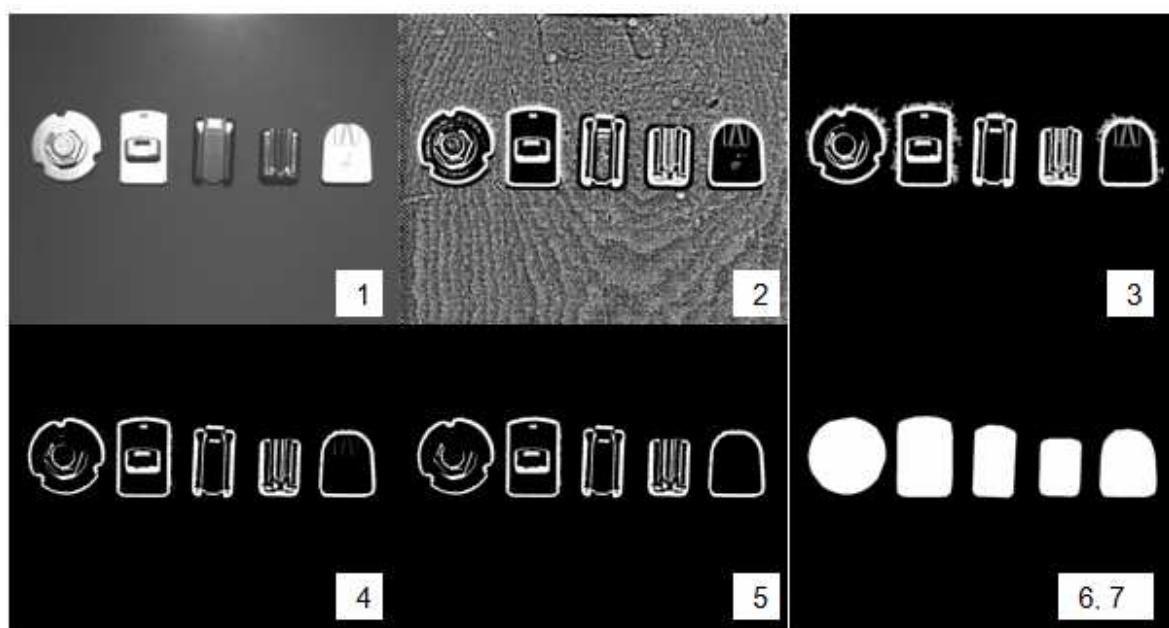
Experiment byl nejprve prováděn primárně za tmy, aby se předešlo zkreslení od okolních zdrojů světla. Pro optimalizaci podmínek snímání scény byly odzkoušeny dva objektivy s ohniskovou vzdáleností 12,5 mm a 25 mm. V prvním kroku bylo použito objektivu s ohniskovou vzdáleností $f = 12,5$ mm (bez bližší specifikace clony) a bočního osvětlení intenzivním plošným červeným světlem a byla provedena parametrizace experimentálního postupu (skriptu) pro detekci držáků. V dalších experimentech bylo také zkoušeno použití objektivu s ohniskovou vzdáleností

$f = 25 \text{ mm}$. Pro každé osvětlení pak bylo zkoušeno snímání při různém nastavení clon, aby byla ověřena stabilita daného nastavení.

Skript byl postupně zdokonalován v průběhu experimentů a nyní má podobu zobrazenou na obr. 11, formou vývojového diagramu. Snímky provedených úprav jsou zobrazeny na následujícím obrázku (obr. 12). Číslování použité v diagramu odpovídá označení snímků na obrázku a zároveň popisu níže.



Obr. 11 *Finální skript*



Obr. 12 *Jednotlivé kroky skriptu*

Jednotlivé kroky finálního skriptu:

1. Pořízení snímku průmyslovou kamerou.
2. V tomto kroku je provedeno prahování Niblack, deviační faktor byl experimentálně nastaven na 0,2, odhadovaná velikost objektu volena 30x30.
Algoritmus prahování Niblack patří mezi lokální adaptivní prahovací algoritmy. Lokální adaptivita znamená využití lokálních charakteristik obrazu na určité hodnotě

prahu. Podle Niblacka je počítán v rozumném okolí každého pixelu aritmetický průměr jasu m a směrodatnou odchylku s , práh T je pak definován jako $T = m + k \cdot s$, kde je obvykle koeficient $k = -2$ [2].

3. V důsledku šumu se vyskytují v okolí držáku parazitní objekty. Je nutné jejich odstranění, proto jsou v tomto kroku odebrány malé objekty v okolí držáků, volena 4 iterace.
4. V tomto kroku je provedena eroze objektu, to znamená odstranění šumu v okolí držáku, 1 iterace, velikost 3x3.
5. Zde je provedeno odebrání malých objektů v okolí držáků, 2 iterace.
6. Tento krok zajistí convex, tj. vyplnění vnějšího obrysu objektů.
7. Úkolem tohoto kroku je odebrání objektů, které leží na hranici snímku. Tím je eliminována chybná identifikace odlesků některých osvětlení.
8. Výsledná analýza, kdy je softwarem stanoven počet držáků a je určena poloha každého z nich pomocí souřadnic jeho geometrického středu.

Následné experimenty s připraveným skriptem byly prováděny v těchto krocích:

- stanovení vhodného typu osvětlení,
- stanovení optimální polohy u vybraného typu osvětlení,
- vliv výměny objektivu na vyhodnocení snímku,
- vliv změny clony na detekci objektů,
- vliv změny orientace objektů na jejich detekci.

Zhodnocení experimentu

Úkolem bylo bezpečně identifikovat dané držáky zpětného zrcátka čelního skla. Pro tyto držáky bylo odzkoušeno několik typů osvětlení. Podle předpokladů se ukázalo, že detekce stříbrných držáků na černém podkladu je relativně snadná, avšak detekce černých je problematická. Bylo zjištěno, že nejvýhodnější je použití plochého osvětlení, které bude držáky osvětlovat pod úhlem 70° . Při tomto osvětlení byla identifikace poměrně stabilní, problém se vyskytl pouze natočení držáku větším než 20° . Tento nedostatek lze odstranit použitím dalších dvou plošných osvětlení. V uvažovaném případě toto není relevantní, držáky jsou natočeny maximálně o $\pm 1,5^\circ$.

Doporučené zařízení a jeho nastavení

- Typ kamery: BASLER A622f.
- Typ osvětlení: Ploché Intenzivní plošné červené světlo (83 x 156 mm).
- Poloha osvětlení: Pod úhlem 70°, ve vzdálenosti do 1 m.
- Typ objektivu: FUJION HF25HA-1B ($f = 25$ mm).
- Nastavená clona: 1/11.
- Orientace objektu: Objekt musí být osvětlován zdola, nebo shora, s maximálním natočením $\pm 15^\circ$

Přesnost identifikace

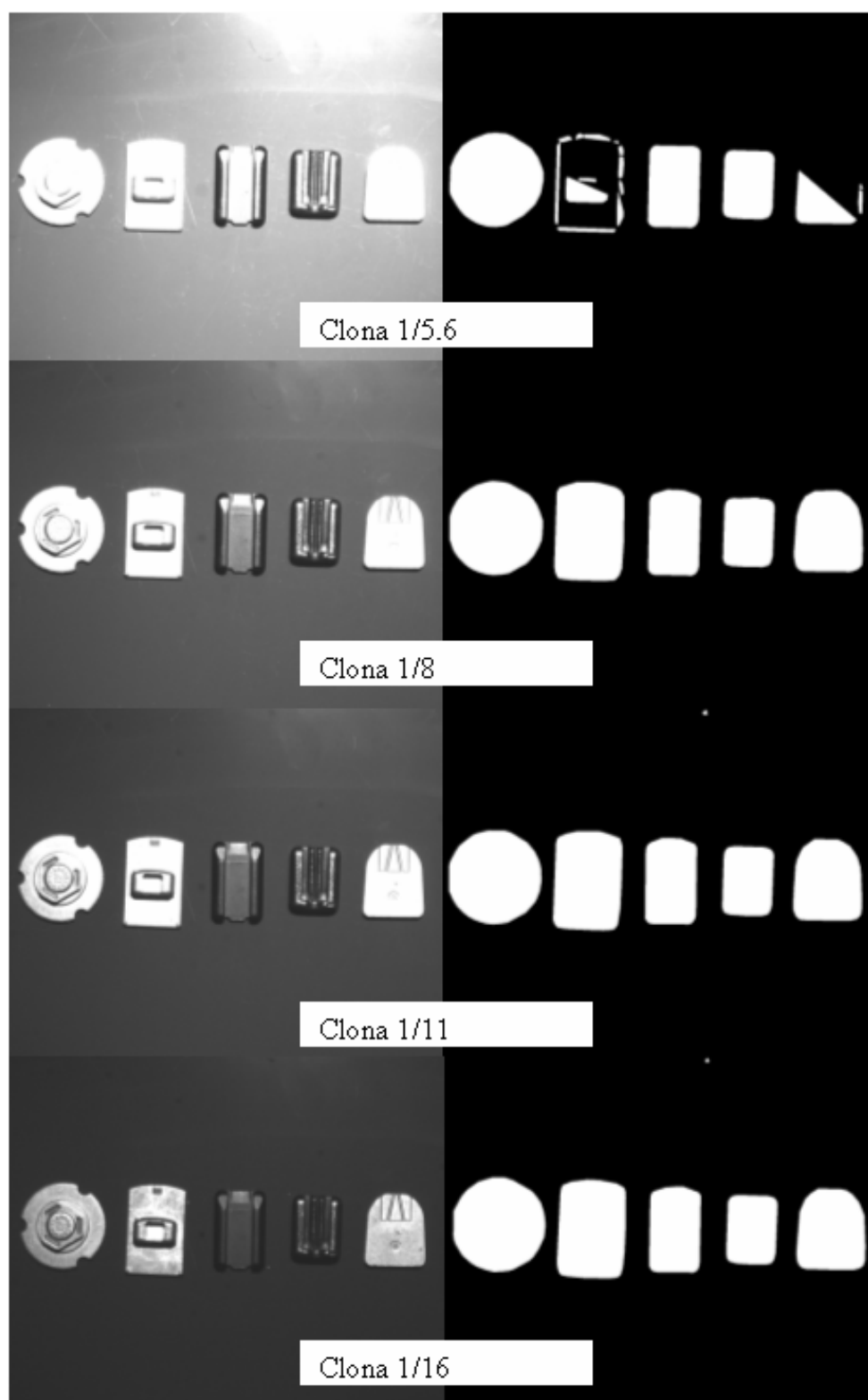
Přesnost identifikace byla určena rozdílem skutečné polohy středů od té, která byla určená softwarem. Tabulka 4 zobrazuje případ s největší nepřesností z naměřených pokusů. Souřadnice středů byly určeny softwarem a přepočítány z pixelů na mm. Maximální chyba byla 0,82 mm. V případě přechodu na nový typ držáku, lze doporučit jeho další odzkoušení.

Tabulka 4 *Identifikace středů použitých držáků*

		Držák				
		1	2	3	4	5
Reálné souřadnice držáku [mm]	x	20,00	58,23	92,20	122,89	155,22
	y	68,09	70,56	69,87	69,60	69,32
Identifikované souřadnice držáku [mm]	x	20,69	57,95	92,20	123,16	155,08
	y	67,95	70,56	70,69	69,60	68,64
Rozdíl souřadnic [mm]	Δx	0,68	0,27	0,00	0,27	0,14
	Δy	0,14	0,00	0,82	0,00	0,69

Pro ilustraci je přiložen obr. 13 zobrazující lokalizované držáky při různých clonách. Na obrázku je zobrazen první a předposlední krok algoritmu. První obrázek (vlevo) je v podstatě pouze kamerou pořízený snímek. Na obrázcích vpravo jsou už jednotlivé identifikované držáky zobrazeny jako objekty, ze kterých jsou poté vypočítány souřadnice středu. Je možné vidět, že identifikace byla v tomto případě úspěšná v rozsahu clon 1/8 až 1/16. Na posledních dvou obrázcích, tj. při cloně 1/11 a 1/16 je vidět nepatrná chyba v identifikaci, malý bílý bod v horní části obrázku. Tento bod byl způsoben zaprášením objektivu. To lze samozřejmě odstranit vyčištěním. Při tomto

snímání však bylo znečištění ponecháno úmyslně k modelování zhoršených podmínek v provozu. Skript byl postupně zdokonalován tak, aby byl schopen eliminovat tyto falešné objekty.



Obr. 13 Snímky s objektivem HF25HA-1B při různých clonách

2. ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ KONCEPCE TESTOVACÍHO PRACOVISTĚ

Tato kapitola obsahuje přehled variant možného řešení konstrukce testovacího zařízení a po zhodnocení předností a nevýhod jednotlivých návrhů následuje výběr optimální varianty.

Pro řešení této práce byly uvažovány dvě základní celkové koncepce řešení. První navrhovanou alternativou je zkoušení adheze držáku na fixovaném stacionárním skle, mechanismus umístěn na robotu nebo manipulátoru. Druhou alternativou je zkoušení stacionárním mechanismem, do kterého bylo sklo nasunuto robotem. Na základě analýzy provedené v předchozí kapitole byla vybrána varianta nasunutí skla do mechanismu robotem, který je již na dané lince umístěn.

Nepřesné uchycení držáku (nepřesnost dána součtem dílčích nepřesností soustavy - nepřesnost uchycení skla, nepřesnost nalepení držáku, opakovatelná polohovatelnost robotu), do měření vnáší znatelné zkreslení, proto muselo být uvažováno snímání scény průmyslovou kamerou a následná korekce polohy.

2.1 Realizace torzního zatížení

Po bezpečném uchycení je potřeba na držák aplikovat odpovídající torzní zatížení, a tím vyzkoušet nalepení držáku. Na testovací proces je kladen nárok možnosti nastavení velikosti torzního zatížení. Dle požadavků zadavatele se bude na držák aplikovat zatížení 10 a 15 Nm, dle typu držáku. Je zapotřebí zvolit pohon, který umožní nastavit vhodnou rychlost pohybu. Pomalu bude zatěžovat držák až na hraniční hodnotu, poté rychle odlehčí.

Pro volenou alternativu lze uvažovat dva základní způsoby realizace torzního zatížení.

Varianta A

V této variantě je torzní zatížení realizováno robotem, který držák nasune do stacionární hlavice, popřípadě pouze tvarového otvoru, pomalu otáčí s celým uchyceným sklem a

snímá průběh momentu. Robot by v tomto případě musel být vybaven silovým řízením force control, to jest senzorem se 6ti stupni volnosti. Alternativně by dynamometr mohl být součástí stacionární hlavice a dávat robotu pouze signál. V tomto případě by robot musel být vybaven jednotkou pro zpracování analogového signálu.

Výhody: Výhodou této varianty je konstrukční jednoduchost a minimální změny v zástavbě výrobní linky.

Nevýhody: Tato varianta obsahuje řadu nevýhod. Největším problémem je zpracování signálu. Při otáčení skla kolem osy držáku robot nevykonává prostý rotační pohyb, nýbrž opisuje složitou trajektorii. Moment je poté potřeba vypočítat složitým složením působících sil. Nevýhodou tohoto provedení je také cena systému, protože robot, který je v současné době používán na manipulaci se sklem, není silovým řízením vybaven. Další nevýhodou je velký moment setrvačnosti sestavy, který by komplikoval průběh testování. Problémy by mohly nastat zejména při rychlé reverzaci během uvolňování.

Varianta B

Realizace torzního zatížení probíhá jednoduchým mechanismem, do kterého je držák robotem nasunut. Sklo je poté v pozici robotem pouze drženo, mechanismus v tomto případě držák uchopí, pomalu otáčí a kontroluje průběh momentového zatížení.

Výhody: Výhodou této varianty je jednoduchá realizace otočného pohybu, malý moment setrvačnosti akčního členu a jednodušší měření momentu.

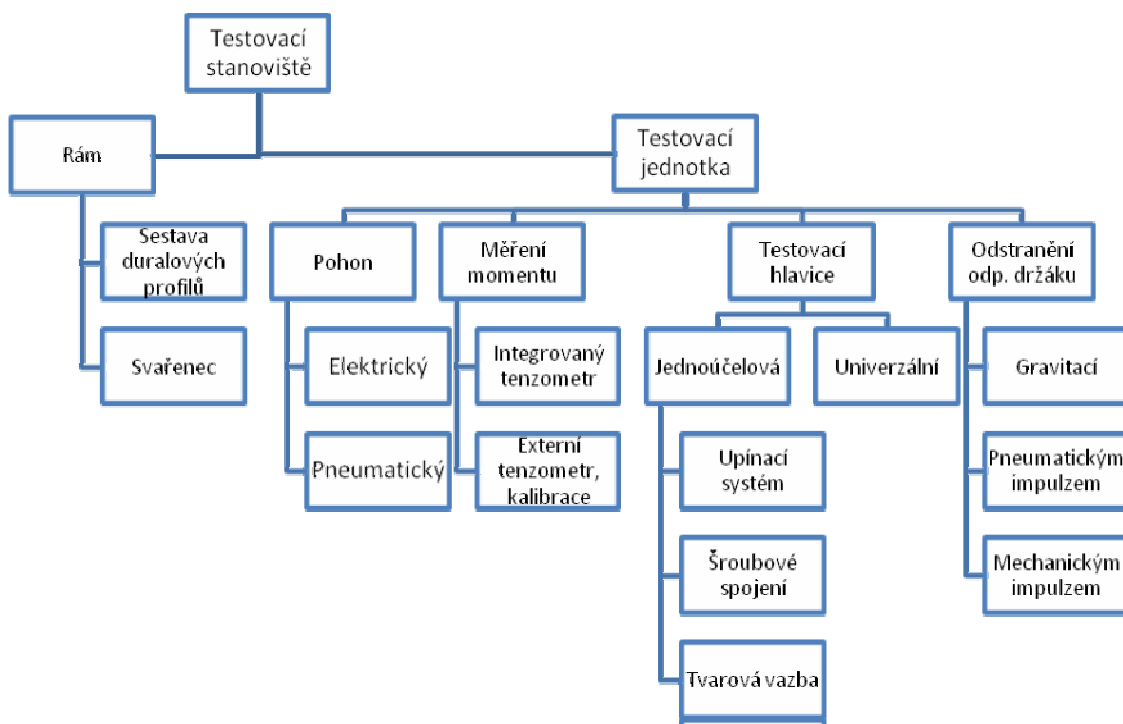
Nevýhody: Nutný zásah do zástavby výrobní linky.

Zhodnocení

Po zvážení všech pozitivních i negativních vlastností je volena varianta aplikace torzního zatížení přídatným mechanismem. Tato varianta je jednodušší, snadněji lze realizovat otočný pohyb a měření momentu.

2.2 Varianty testovacího stanoviště

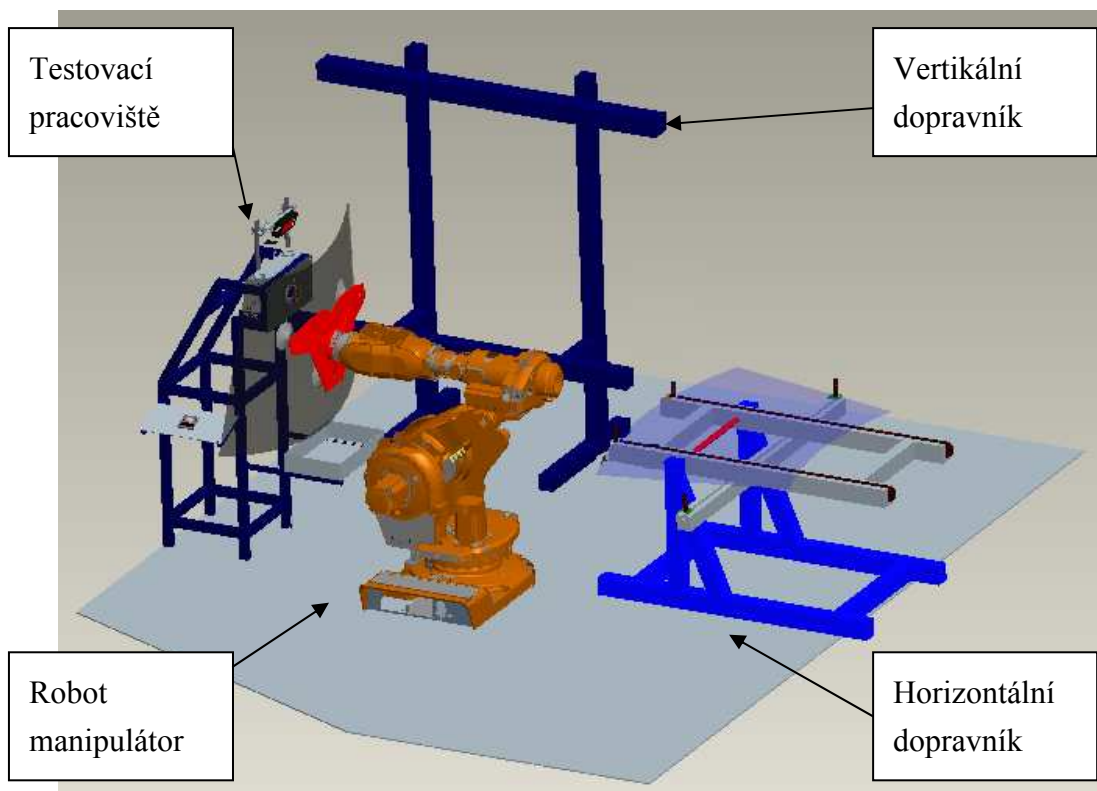
Tento oddíl se zabývá jednotlivými prvky testovacího zařízení. To je základně rozděleno na rám, průmyslovou kameru s osvětlením a zkoušecí jednotku. Samotná zkušební jednotka je složena z více částí, které jsou podrobněji rozepsány v odpovídající podkapitole. Rozhodovací diagram je znázorněn na obr. 14.



Obr. 14 Rozhodovací diagram

2.2.1 Výběr umístění

Testovací stanice bude umístěna v pracovním prostoru Robotu 3, jak bylo vybráno v rozhodovací analýze v předchozí kapitole. S ohledem na technické požadavky byla jako nejlepší vybrána pozice naproti horizontálnímu dopravníku. Tato pozice disponuje dostatkem volného prostoru a leží ve vertikální ose robotu. Situace je zobrazena na obr. 15.



Obr. 15 Pozice 2 testovacího zařízení

2.2.2 Rám

Rám testovacího zařízení bude ukotven samostatně, nezávisle na výrobní lince. V této práci budou uvažovány následující varianty konstrukce rámu.

- Svařovaná sestava ocelových profilů;
- Stavebnicový typ duralových profilů.

Svařovaná sestava ocelových profilů

Tato varianta rámu testovacího zařízení je svařena z tenkostěnných uzavřených ocelových profilů, doplněných návary pro snadnější montáž dalších prvků. Výhodou této varianty jsou nízké náklady a vysoká tuhost rámu. Nevýhodou této varianty je menší variabilita zařízení.

Stavebnicový typ duralových profilů

Tato varianta uvažuje rám sestavený z jednotlivých duralových profilů. Tento stavebnicový systém disponuje velikou flexibilitou. Nevýhodou je však menší tuhost duralových profilů a také vyšší pořizovací náklady.

Vzhledem k nárokům na rám a také s ohledem na další konstruované mechanismy na lince byla zvolena konstrukce svařovaného rámu.

2.2.3 Testovací jednotka

Na testovací jednotku jsou kladeny nároky bezpečného uchopení všech používaných typů držáku, aplikace odpovídajícího torzního zatížení a vyhodnocení celého zkoušení.

A. Možnosti uchopení držáku

Mechanismus musí držák bezpečně uchytit tak, aby na něj byl schopen přenést torzní zatížení. Toto uchycení lze realizovat více způsoby, které jsou níže seřazené od jednoúčelového po ten nejuniverzálnější. Schéma na obr. 14 ukazuje možnosti uchopení držáku.

- pomocí tvarové vazby - jednoúčelová hlavice, hlavice s tvarem inverzním držáku, pro každý držák je potřeba jedna hlavice
- univerzální

V případě použití jednoúčelových hlavic je také zapotřebí uvažovat možnosti výměny těchto hlavic pro různé držáky. To lze realizovat těmito způsoby:

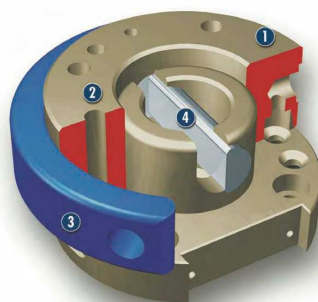
Automatická výměna

Automatický výměnný systém zajišťuje rychlou a bezpečnou výměnu efektorů. Skládá se ze dvou částí. Části, která je upevněná na přírubě robotu a části s efektozem. Výměnu efektoru tak robot zvládne naprosto sám ve velmi krátké době. Používá se zejména tam, kde je potřeba efektor měnit častěji a v krátkém čase. Systém také zajišťuje bezpečný přenos energií, díky čemuž odpadá nutnost dalšího přívodu média na efektor [3].

Ruční výměna s využitím rychloupínacího systému

Tento jednoduchý mechanismus umožňuje rychlou a jednoduchou manuální výměnu efektorů bez použití speciálního nářadí. Výměnný mechanismus (obr. 16) je složen ze dvou částí, upínací hlavy a adaptéru. Upínací hlava je přesně fixovaná na předchozí prvek. Výměnný adaptér je do hlavy nasunut a ručně zafixován otočením a zaklopením

páky. Zařízení umožňuje také bezpečný přenos energií. Elektrické pomocí přídavného adaptéru a tlakového vzduchu díky speciálním otvorům v obou dílech. Vstup a výstup je v tomto případě radiálně. Díky tomuto vylepšení odpadá nutnost dalšího připojování přívodu tlakového vzduchu na vyměňovaný prvek [3].



Obr. 16 *Systém manuální výměny efektorů [3]*

Ruční výměna s využitím tvarové vazby

Některé momentometry disponují výstupem s unifikovaným vnitřním nebo vnějším čtyřhranem se zajištěním kuličkou. V případě osazení univerzální hlavice protikusem lze potom toto spojení také uvažovat jako ruční výměnný systém. Výhodou této varianty je jednoduchost, nízké pořizovací náklady a určitý stupeň možnosti rektifikace polohy testovací hlavice.

Ruční výměna – upnutí pomocí šroubového spojení

Poslední zvažovanou možností je upnutí pomocí šroubového spojení. V tomto případě by jednoúčelová hlavice musela být při každé výměně vyráběného skla ručně odšroubována a vyměněna.

Výběr uchopovací hlavice

Pro každou z variant bylo uvažováno použití jednoúčelové hlavice s tvarovým otvorem, namísto univerzálního chapadla. Toto rozhodnutí bylo učiněno na základě faktu, že požadovaný mechanismus bude zkoušet pouze 5 typů držáku, ale také kvůli zjednodušení celé konstrukce. Pro možnost rychlé a bezproblémové výměny bylo vybráno použití jednoho z manuálních výměnných systémů. Při změně výroby na jiný typ skla má obsluha dostatek času hlavici ručně vyměnit, avšak nebude tím zdržována

tolik, jako kdyby se použilo šroubové spojení. Automatická výměna je v tomto případě zbytečná, pouze by neúměrně zvýšila náklady na testovací zařízení.

B. Realizace odstranění odpadlého držáku

V neposlední řadě je třeba uvažovat odstranění ulomeného držáku z čelistí testovacího mechanismu. To by mělo proběhnout rychle, aby mechanismus mohl neprodleně testovat další sklo. Možné varianty odstranění odlomeného držáku jsou:

Gravitací

Tento případ uvažuje orientaci testovacího mechanismu tak, aby z mechanismu držák vypadl díky své tíze (čelistmi svisle dolů). Mechanismus má při testování v každém taktu určitou časovou rezervu. Díky ní lze také popřípadě kombinovat s hybnostním vlivem. Servopohon může být naprogramován tak, aby v nevyužitém čase několikrát rychle pootočil s hlavicí, čímž by razantně zmenšil šanci, že držák zůstane ve tvarovém otvoru vzpříčen. Tato varianta je konstrukčně nenáročná, nezaručí ale jisté odpadnutí držáku. Vhodnou volbou by bylo doplnění hlavice čidlem.

Pneumatickým impulzem

V tomto případě by ve volném čase byl do hlavice přiveden krátký impulz tlakového vzduchu, který by držák „vyfoukl“ ven z tvarového otvoru. Nevýhodou je v tomto případě přivedení tlakového vzduchu na jednoúčelovou hlavici. Ani toto řešení ale nezaručí stoprocentní účinnost.

Mechanickým impulzem

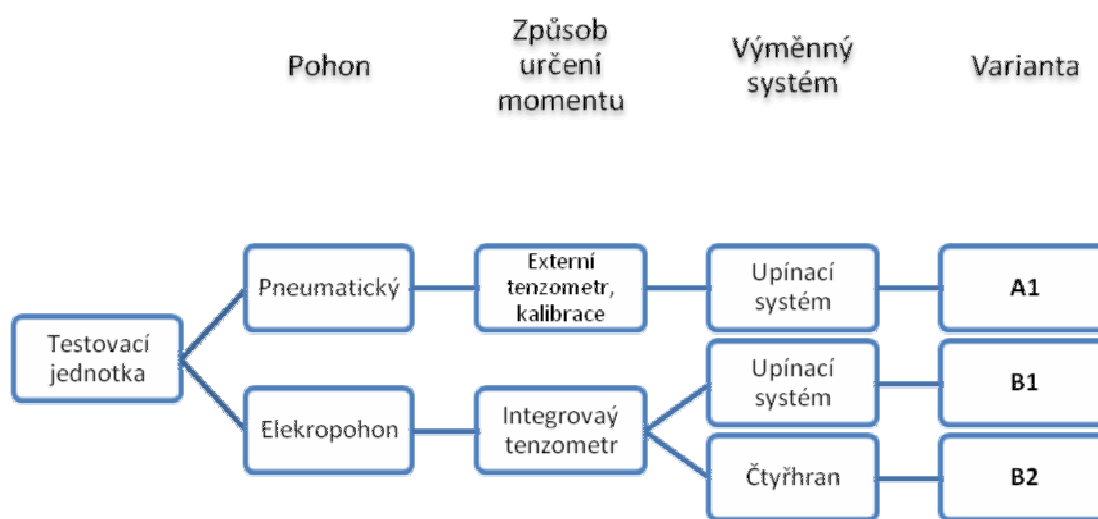
Poslední případ uvažuje vysunutí držáku mechanickým impulzem. Zde je držák z tvarového otvoru vysunut (například malým pístem). Nevýhodou této možnosti je integrace další součásti do mechanismu, čímž se zvýší jeho hmotnost a samozřejmě také moment setrvačnosti zátěže. Tato varianta je konstrukčně nejsložitější, jako jediná ale zajistí jisté odstranění odpadlého držáku.

Výběr varianty odstranění odpadlého držáku

Pro testovací mechanismus byla vybrána poslední ze zmiňovaných možností. Odpadnutí bude zajišťovat pneumatický válec. Ten po každém testování vysune a zasune píst, čímž zajistí odstranění odpadlého držáku.

2.2.4 Varianty vybrané testovací jednotky

Schéma na obr. 17 znázorňuje návrhy možných variant řešení testovacího mechanismu. Ty jsou podrobněji popsány v následujících podkapitolách. Pro všechny varianty byla na základě předchozí analýzy volena jednoúčelová hlavice s tvarovým otvorem a manuální výměnný systém.

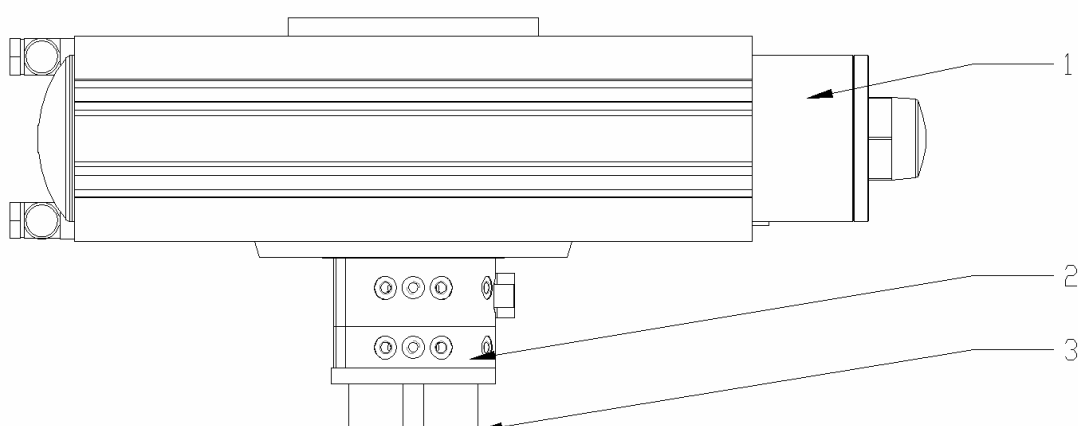


Obr. 17 Konstrukční varianty testovacího mechanismu

Varianta A1

První alternativou je tekutinový testovací mechanismus, do kterého je, jak již bylo řečeno, sklo s držákem nasunuto robotem zajišťujícím manipulaci. Pohon je zde realizován rotační pneumatickou jednotkou. Zatěžovací moment je odvozen od nastaveného tlaku na ITV tlakovém ventilu. Velikost požadovaného tlaku musí být předem odzkoušena a zkalibrována. Dále je také doporučena opakovaná kalibrace v dané časové periodě, jako je například při každé změně vyráběného skla. Tento systém byl již pro zkoušení adheze otestován firmou SMC. Testovací mechanismus zobrazen na obr. 18 se skládá z těchto částí:

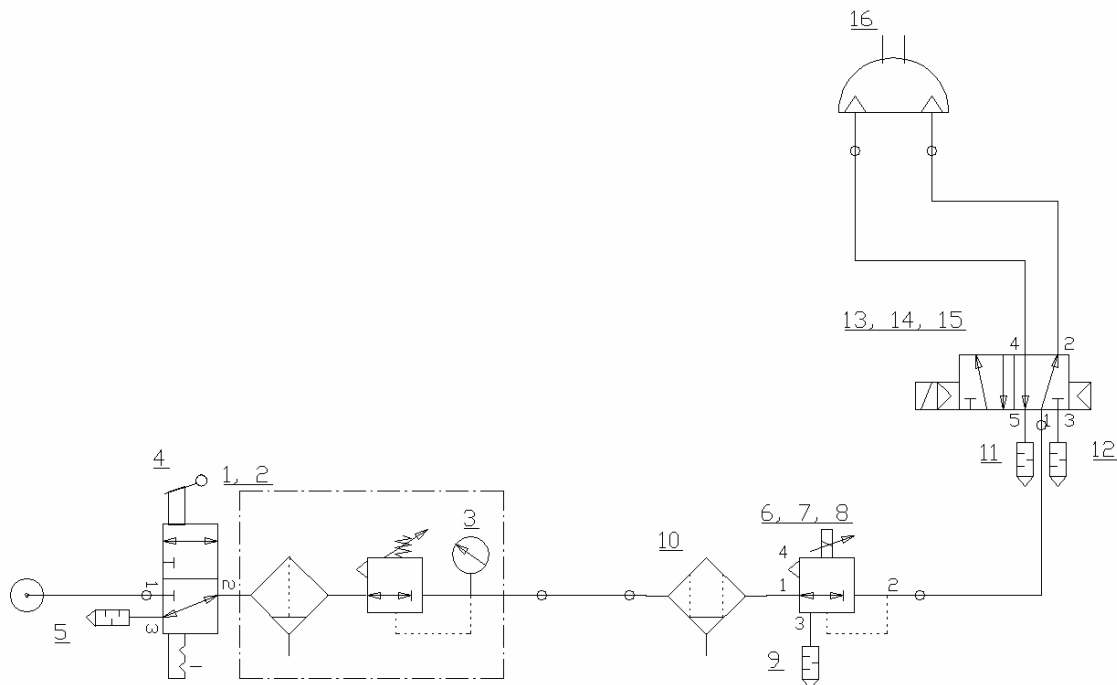
- Rotační jednotka (1)
- Manuální výměnný systém (2)
- Inverzní hlavice (3)



Obr. 18 *Varianta A1*

Tento zkušební mechanismus je zapojen podle schématu na obr. 19 a je řízen ITV tlakovým ventilem, který umožňuje postupné nastavení tlaku vzduchu a tím v podstatě i rychlost zatěžování držáku. Při pozvolném zatěžování tlak pomalu narůstá až na

kritickou hodnotu momentu, kdy senzor přepne rozvaděč a následuje reverzace polohy. Rotační jednotky jsou standardně dodávány společně se snímači polohy. V případě utržení se tak hlavice otočí až do krajní polohy a tím aktivuje čidlo. To informuje systém, že došlo k utržení držáku.



Obr. 19 *Pneumatické zapojení testovacího mechanismu*

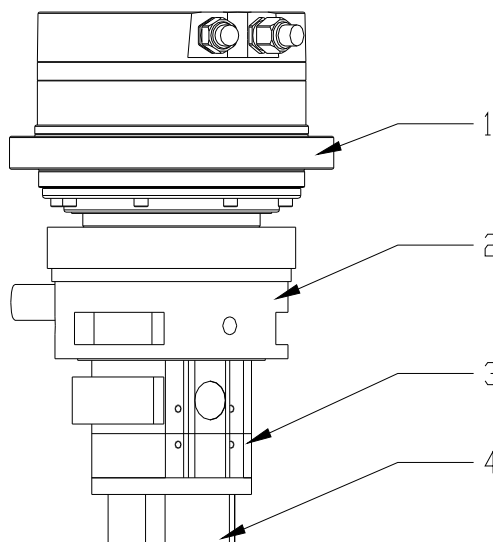
- Výhody:** Levné a jednoduché řešení, složené převážně z normalizovaných dílů, výhoda možnosti řízení nárůstu tlaku.
- Nevýhody:** Hlavní nevýhodou je nutná pravidelná kalibrace zařízení a dlouhé spínací časy rozváděče. Zpoždění na rozvaděči může způsobit přesáhnutí požadované kritické hodnoty momentu. Toto lze vyeliminovat velice pomalým nárůstem zatěžovacího momentu těsně před kritickou hodnotou. Dále jako v každém pneumatickém obvodu je nutné uvažovat pasivní odpory systému.

Varianta B1

Další variantou je testovací mechanismus poháněný servopohonem. Stejně jako v předchozím případě je držák nasunut robotem manipulátorem do čelistí testovacího mechanismu a poté je na něj aplikováno definované torzní zatížení. Pohon zajišťuje servomotor s harmonickou převodovkou, díky které je možné hlavici natáčet velmi pomalu a přesně. Průběh zatížení je možné řídit tak, aby před kritickou hodnotou momentu docházelo k velice pomalému zatěžování. Moment je v této variantě snímán integrovaným momentometrem, který kontroluje průběh snímání a při dosažení požadovaného torzního zatížení posílá signál servomotoru. Výměnu testovacích hlavice zajišťuje typizovaný manuální výměnný systém. Jeho výhodou je rychlá výměna pouze jednoho prvku. Adaptér totiž zároveň zajišťuje průchod tlakového vzduchu, který bude potřeba přivést na testovací hlavici.

Testovací mechanismus je zobrazen na obr. 20 a skládá se z těchto částí:

- Servomotor s integrovanou harmonickou převodovkou (1)
- Momentometr (2)
- Manuální výměnný systém (3)
- Inverzní hlavice (4)



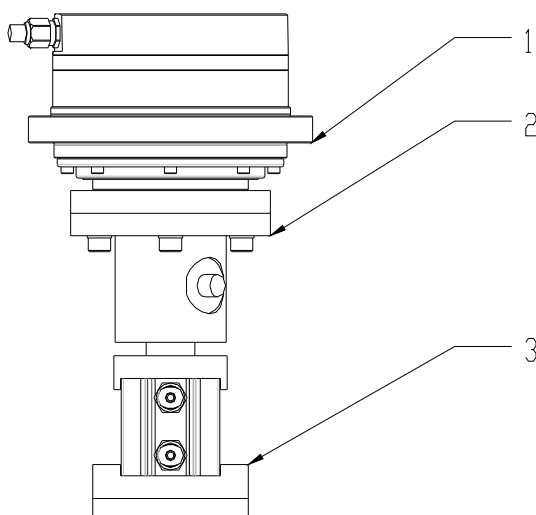
Obr. 20 *Varianta B1*

Varianta B2

Poslední variantou je testovací mechanismus, taktéž poháněný servopohonem. Torzní zatížení je zajištěno stejně jako v předchozí variantě servomotorem s harmonickou převodovkou, díky které je možné hlavici natáčet velmi pomalu a přesně. Odměrování momentu v tomto případě zajistí jednoduchý momentometr s výstupem s vnitřním čtyřhranem, který dovolí možnost ruční výměny. Testovací hlavice musí být vybavena rychlospojkami na hadice pro přívod tlakového vzduchu.

Testovací mechanismus je zobrazen na obr. 21 a skládá se z těchto částí:

- Servomotor s integrovanou harmonickou převodovkou (1)
- Integrovaný momentometr s vnitřním 4hranem na výstupu (2)
- Testovací hlavice (3)



Obr. 21 *Varianta B2*

Výběr varianty pro konstrukční řešení

Výběr varianty testovacího zařízení je opět proveden objektivizační metodou rozhodovací analýzy (tab. 4) Na základě provedené analýzy byla vybrána varianta B2. Tato varianta zajistí přesné a bezproblémové testování. Nepotřebuje žádnou další kalibraci a náklady na její realizaci jsou přijatelné.

Tabulka 5 *Výběr testovací jednotky*

Párové srovnání kritérií					Matice užíttnosti alternativ							
Poř.	Název kritéria	Počet voleb	Pořadí významnosti	Váha	Hodnota X		Varianta A1		Varianta B1		Varianta B2	
					prostá vážená		prostá vážená		prostá vážená		prostá vážená	
1	Přesnost testování	3	1	4	100	400	70	280	90	360	90	360
2	Nutnost další kalibrace	2	2	3	100	300	10	30	100	300	100	300
3	Možnost rektifikace hlavice	1	3	2	100	200	10	20	10	20	80	160
4	Investiční náklady	0	4	1	100	100	90	90	60	60	70	70
Celkem					1000		420		740		890	
Užíttnost v relativním vyjádření					100%		42%		74%		89%	
Pořadí alternativ podle užíttnosti							3.		2.		1.	

3. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉHO NÁVRHU

Třetí kapitola obsahuje popis konstrukce vybraného testovacího zařízení. Návrh je proveden v těchto krocích:

3.1 Návrh rámu

Rám testovacího zařízení bude ukotven samostatně, nezávisle na výrobní lince. Rám je svařen z uzavřených tenkostěnných ocelových profilů, doplněných dalšími návary pro snadnější montáž dalších prvků. Výhody této varianty jsou nízké náklady a vysoká tuhost rámu. Hustota použitých profilů je 7850 kg/m^3 a hmotnosti jsou udávány v tabulkách v kg/m.

Tabulka 6 *Hmotnost rámu*

Rozměr profilu	Hmotnost [kg/m]	Délka [mm]	Počet kusů	Zaokrouhlená hmotnost [kg]
60x40x2	3,01	540	4	6,5
	3,01	600	4	7,2
	3,01	940	2	5,7
	3,01	880	2	5,3
	3,01	180	2	1,1
	3,01	1640	2	9,9
	3,01	200	2	1,2
	3,01	300	2	1,8
30x30x2	1,76	300	2	1,1
	1,76	680	2	2,4
Návary			18	8
Celková hmotnost rámu				50,1

Usazení a kotvení testovací stanice

Rám je usazen na výškově stavitelných patkách dodávaných firmou Misumi. Zátěž na nohy byla přibližně spočtena:

$$F_{TN} = F_T + F_M, \quad (15)$$

Kde F_T je tíhová síla daná hmotností mechanismu a F_M je síla vyvozená z momentového zatížení. Celková hmotnost testovací stanice je 71kg. Velikost tíhové síly bude potom:

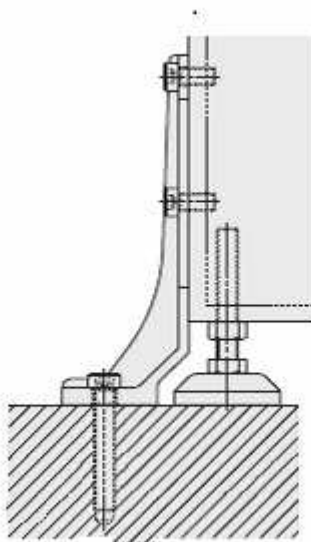
$$F_T = m \cdot g = 71 \cdot 9,81 \cong 697 \text{ N} . \quad (16)$$

Velikost F_M je získána rozložením momentu síly:

$$F_T = \frac{M}{r} = \frac{15}{0,28} \cong 54 \text{ N} . \quad (17)$$

Působící síla nebude rozložena rovnoměrně mezi 4 patky, proto je uvažována její maximální možná velikost, která je 751 N.

Volena byla patka o průměru 40 mm, která má maximální povolené zatížení 1500 N.



Obr. 22 Usazení a ukotvení testovací stanice

Jelikož rám stroje svou hmotností nezamezuje posunutí či převrácení stanice při zkoušení, je nutno jej ukotvit k podlaze. Umístění kotvy bylo vybráno vzhledem k předpokládanému namáhání rámu.

3.2 Návrh procesu testování

Takt dané linky je 12 s. V této době musí robot nejprve uchytit sklo z mechanismu na vystředění a najet do pozice, kde bude držák lokalizován průmyslovou kamerou. Jeho aktuální poloha bude softwarem porovnána s referenční polohou a do další polohy (hlavice testovacího mechanismu) tak už robot nasune držák s upravenými

souřadnicemi. Inverzní hlavice testovací jednotky se začne velmi pomalu otáčet. V okamžiku, kdy se opře o držák, začne narůstat moment. Ten je snímán momentometrem integrovaným v testovací jednotce. Při dosažení nastavené hraniční hodnoty momentu dojde k rychlé reverzaci do původní polohy. Poté je sklo odloženo na vertikální dopravník a pokračuje ve výrobním procesu.

V případě, že dojde k utržení držáku, sledovaná hodnota momentu nedosáhne nastavené hranice v požadovaném čase. PLC (programovatelný logický automat) vyhodnotí sklo jako špatné a pošle tuto informaci systému. Sklo je poté o několik pozic dále vyřazeno a určeno k další kontrole či opravě. Součástí testovací hlavice je kompaktní pneumatický válec, který po každém testování vysune a zasune píst. Tento pohyb zajišťuje odstranění odlomeného držáku z testovací hlavice. Válec je vybaven čidlem polohy s negativní logikou, které v případě zaklínění držáku (nedojde k vysunutí a zasunutí pístu) předá informaci nadřazenému systému a upozorní obsluhu. Testování je přerušeno a robot, který je o dvě pozice dříve, zatím skládá skla z linky do nouzového zásobníku, aby nemusel být přerušen chod myčky.

Časový rozbor operace

Čas jednoho taktu byl rozvržen následovně:

Uchopení skla, najetí před průmyslovou kameru	2s
Vyhodnocení pozice, najetí do hlavice test. mechanismu	2s
Aplikace torzního zatížení	4s
Odložení skla na pás, návrat do odebírací polohy	4s

3.3 Návrh testovací hlavice

Navrhovaná testovací hlavice se skládá ze tří dílů. Základem je kompaktní pneumatický válec řady ADVU společnosti Festo. Ten je osazen dvěma přírubami. Na zadní straně válce přírubou s vnějším 3/8" čtyřhranem. Ta zabezpečí připojení k testovací jednotce. Pro bezpečné připojení je čtyřhran doplněn pojistnou kuličkou. Na akční straně je válec osazen přírubou s otvorem inverzním testovanému držáku. Hlavice bude použito 5, pro

každý testovaný typ držáku jedna. Lišit se budou právě v koncovém nastavci. Na přírubu s inverzním otvorem tvaru držáku bude navíc nalepena folie transsilonu. Během testování se hlavice nedostane do kontaktu se sklem, folie slouží pouze pro ochranu při navádění robotu do testovací pozice.

Parametry vybraného pneumatického válce [4]:

Typ:	ADC-32-10-I-P-A
Průměr pístu:	32 mm
Zdvih:	10 mm
Provozní tlak:	0,8-10 bar
Teor. síla při pohybu vpřed (6 bar):	483 N
Hmotnost jednotky se zdvihem 10 mm:	340 g

3.4 Návrh pohonu

Torzní zatížení testovací jednotky bude zajišťovat servopohon FHA-17C nabízený společností Harmonic Drive. Tento pohon má integrovanou harmonickou převodovku s vysokým převodovým poměrem (1/160), díky které je schopen velmi pomalého a přesného pootáčení.

Výpočet rychlosti otáčení efektoru

Bylo prokázáno, že systém snímání průmyslovou kamerou je schopen detekovat střed držáku s přesností 0,8 mm. Po přičtení maximální možné nepřesnosti vnesené natočením držáku (což je 0,4 mm) je získána hodnota největšího možného posunutí v jedné ose 1,2 mm. Jelikož nám sestava umožňuje určitou rektifikaci polohy, danou umístěním testovací hlavice na čtyřhran, uvažujeme vůli ± 1 mm.

Doba na samotné otestování nalepení držáku byla určena na 4 s. Pokud je zvolen maximální čas na natočení hlavice $t_o = 2$ s a na zatěžování a návrat do původní pozice také 2 s, musí se efektor otáčet úhlovou rychlostí ω :

$$\omega = \frac{\psi}{t_o} \quad (18)$$

Přičemž ψ je maximální možný úhel natočení hlavice, daný goniometrickým vztahem:

$$\psi = 2 \cdot \arctg \left(\frac{v}{\frac{a}{2}} \right) = 2 \cdot \arctg \left(\frac{2v}{a} \right) = 2 \cdot \arctg \left(\frac{2}{18} \right) = 0,22 \text{ rad} , \quad (19)$$

kde $v = 1 \text{ mm}$ je hodnota volené vůle a a je délka držáku.

Pro výpočty byl uvažován držák s nejkratší délkou jeho delší strany. Tento držák má nejkratší rameno otáčení, nutný úhel natočení hlavice bude tak největší. Nastavené požadavky poté vyhoví pro všechny ostatní typy držáku. $a_{min} = 18 \text{ mm}$.

Potřebná rychlost otáčení bude:

$$\omega = \frac{\psi}{t} = \frac{0,22}{2} = 0,11 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \quad (20)$$

Po přepočtení na otáčky/min:

$$n = \frac{\omega \cdot 60}{2\pi} = \frac{0,11 \cdot 60}{2\pi} \cong 1 \frac{1}{\text{min}} \quad (21)$$

Hodnota vypočtené úhlové rychlosti je $0,11 \text{ rad/s}$, což odpovídá přibližně 1 otáčky za minutu.

Návrh aktuátoru:

FHA-17C-160-H-C1024-B [5]

$n_M = 30 \text{ ot/min}$

$M_{Mn} = 30 \text{ Nm}$

$M_{Mmax} = 64 \text{ Nm}$

$J_A = 1,7 \text{ kgm}^2$

$m_M = 3,2 \text{ kg}$

Výpočet momentů setrvačnosti

Pro splnění dynamických požadavků pohonu musí být J_L menší než trojnásobek J_A .

$J_L < 3 \cdot J_A$

Zjednodušený výpočet momentu setrvačnosti zátěže

Hmotnosti jednotlivých dílů byly spočteny softwarem, případně jsou udány výrobcem:

Hmotnost příruby:	$m_P = 484 \text{ g};$	$d_P = 90 \text{ mm};$
Hmotnost senzoru momentu:	$m_S = 586 \text{ g};$	$d_S = 70 \text{ mm};$
Hmotnost test. hlavice:	$m_H = 192+252+173+340=957 \text{ g}.$	$a_H = 60 \text{ mm};$

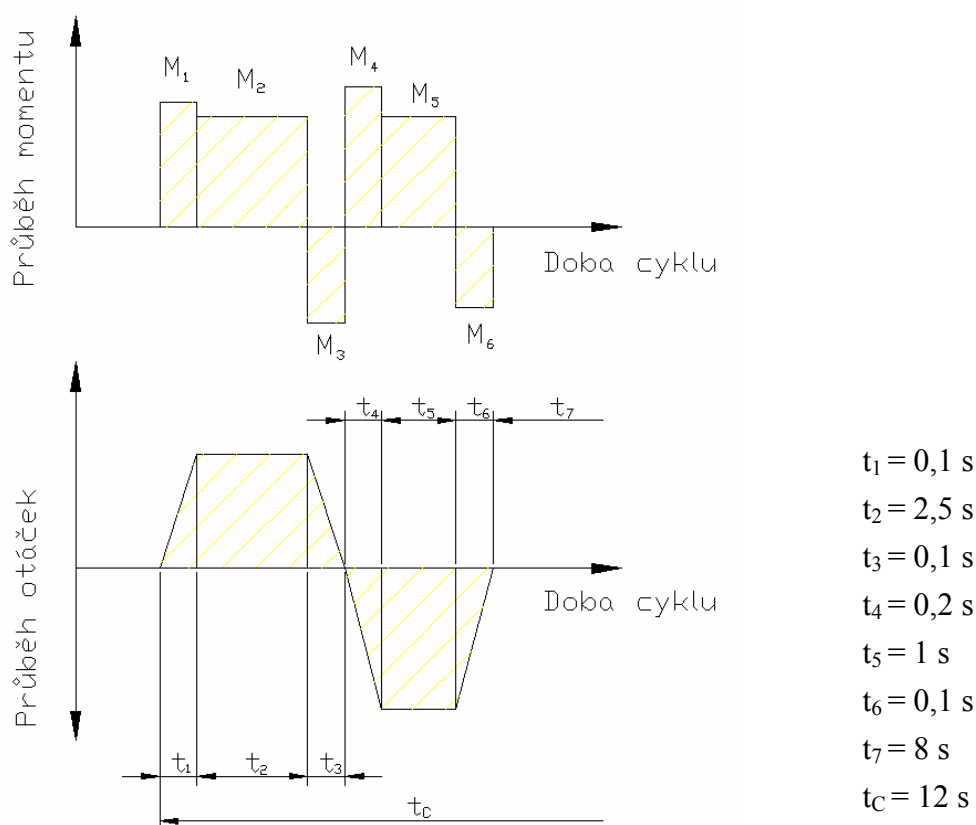
Všechny díly leží v ose otáčení, proto lze moment setrvačnosti zátěže zjednodušeně spočítat:

$$J_L = \frac{1}{2} \cdot \left(m_P \frac{d_P^2}{4} + m_S \frac{d_S^2}{4} + m_H \frac{a_H^2}{6} \right) = 1,136 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2 \quad (22)$$

$J_L \ll J_A \Rightarrow$ zvolený pohon vyhovuje

Řešení dynamických účinků:

Pro řešení dynamických účinků byl volen průběh momentu a otáček dle obr. 23.



Obr. 23 Průběh momentu a otáček

Čas rozběhu byl zvolen: $t_1 = 0,1 \text{ s}$;
 Nastavené otáčky: $n_{L1} = 1 \text{ min}^{-1}$;

Rozběhový moment:
$$M_1 = M_2 + \frac{2\pi (J_A + J_L) \cdot n_{L1}}{60 t_1} = 17 \text{ Nm} \quad (23)$$

Moment zátěže:
$$M_2 = M_T = 15 \text{ Nm} \quad (24)$$

Brzdný moment:
$$M_3 = M_2 - (M_1 - M_2) = 13 \text{ Nm} \quad (25)$$

Pro zpětný pohyb hlavice byl volen čas rozběhu: $t_4 = 0,2 \text{ s}$;
 Otáčky: $n_{L2} = 10 \text{ min}^{-1}$.

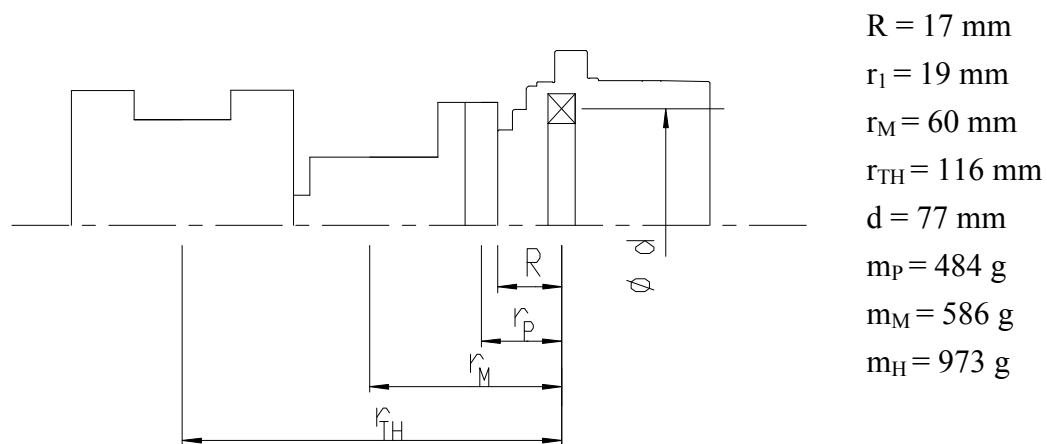
Rozběhový moment:
$$M_4 = M_5 + \frac{2\pi (J_A + J_L) \cdot n_2}{60 t_2} = 26 \text{ Nm} \quad (25)$$

Moment zátěže:
$$M_5 = M_T = 15 \text{ Nm} \quad (26)$$

Brzdný moment:
$$M_6 = M_2 - (M_1 - M_2) = 4 \text{ Nm} \quad (27)$$

Střední moment:

$$M_{stř} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4 + M_5^2 \cdot t_5 + M_6^2 \cdot t_6}{t_c}} = 8,78 \text{ Nm} \quad (28)$$



Obr. 24 Výpočet životnosti ložiska

Velikost působící radiální síly je dána pouze tíhou jednotlivých součástí:

$$F_R = g \cdot (m_P + m_M + m_{TH}) = 24 \text{ N} . \quad (29)$$

Velikost klopného momentu je pak:

$$M_K = g \cdot (m_P \cdot r_P + m_M \cdot r_M + m_{TH} \cdot r_{TH}) = 2 \text{ Nm} , \quad (30)$$

kde r_i je vzdálenost těžiště každé součásti od roviny křížového ložiska (obr. 24).

Průměrná výstupní rychlost je:

$$n_{av} = \left(\frac{n_1 t_1 + n_2 t_2 + n_3 t_3 + n_4 t_4 + n_5 t_5 + n_6 t_6}{t_C} \right) = 1,1 \text{ min}^{-1} . \quad (31)$$

Ekvivalentní radiální síla je spočtena:

$$F_{rav} = \left(F_r^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{(n_1 t_1 + n_2 t_2 + n_3 t_3 + n_4 t_4 + n_5 t_5 + n_6 t_6)}{t_C} \right) = 196 \text{ N} . \quad (32)$$

Ekvivalentní dynamické radiální zatížení je dáno vztahem:

$$p_C = X \cdot \left(F_{rav} + \frac{2F_{rav} \cdot r_T + F_{aav} \cdot l_a}{d_p} \right) + Y \cdot F_{aav} . \quad (33)$$

V navrhovaném případě je axiální síla $F_{aav} = 0$, čímž se vztah velice zjednoduší.

$$p_C = X \cdot \left(F_{rav} + \frac{2F_{rav} \cdot r_T}{d_p} \right) = 681 \text{ N}. \quad (34)$$

Hodnoty koeficientů X , Y jsou pro případ malých axiálních sil $X=1$, $Y=0,45$. Průměr křížového ložiska je pro volený pohon $d_p = 77 \text{ mm}$. Vzdálenost těžiště byla určena softwarem: $r_T = 89 \text{ mm}$.

Životnost křížového ložiska při kývavém pohybu bude:

$$L = \frac{10^6}{60 \cdot n_{av}} \cdot \frac{90}{\vartheta} \cdot \left(\frac{C}{f_w \cdot p_C} \right)^{\frac{10}{3}} = 8 \cdot 10^8 \text{ h}, \quad (35)$$

kde základní dynamická únosnost je dána výrobcem $C = 10\,800 \text{ N}$. Koeficient zátěže je pro normální operace volen $f_w = 1,4$. úhel ϑ je polovinou úhlu konaném při kývavém pohybu. (Určen vztahem 19.) Polovina tohoto úhlu je $\vartheta = 0,505 \text{ rad} = 6,34^\circ$.

3.5 Návrh řízení

Pro realizaci snímání momentu byl vybrán momentometr Imada DIS IP50 s těmito vlastnostmi [6].

Rozsah snímaného momentu:	0-50 Nm
Přesnost snímaného momentu:	$\pm 0,5 \%$ z rozsahu
Výstupní signál:	0 - $\pm 10 \text{ V}$
Napájení:	12 - 28 V DC
Hmotnost jednotky:	586 g
Montáž:	Příruba
	Vnitřní 3/8" čtyřhran

Momentometr je standardně dodáván také s vyhodnocovací jednotkou. Tato jednotka však není vybavena odpovídajícím digitálním výstupem. Z tohoto důvodu bude použit pouze momentometr a analogový signál bude zpracován dalším PLC.

Pro testovací pracoviště byl vybrán programovatelný logický automat PLC Vision 130 dodávané firmou Unitronics. Ten bude zpracovávat analogový signál od

momentometru, řídit chod servopohonu a kontrolovat signál od čidla na pneumatickém válci. Parametry typu V130-33-R2 jsou vypsány níže [7].

Vstupy:	10 binárních
	2 analogové
Výstupy:	6 reléových
Vysokorychl. vst./výst.:	3HSI, 10 kHz
Výpočetní rychlost:	20 μ s/kB
Napájení:	24 V DC
Typ displeje:	grafický 2,4"

3.6 Návrh záchytného boxu

Záchytný box je vyroben z plechu tloušťky 1,5 mm. Jeho celková hmotnost bude 5,2 kg.

3.7 Návrh kamerového systému

Navržené zařízení a doporučené nastavení vychází z experimentu provedeného na katedře sklářských strojů a robotiky. Experiment je popsán v kapitole 1.6.

Typ kamery:	BASLER A622f.
Typ osvětlení:	Ploché Intenzivní plošné červené světlo (83 x 156 mm).
Poloha osvětlení:	Pod úhlem 70°, ve vzdálenosti do 1 m.
Typ objektivu:	FUJION HF25HA-1B (f = 25 mm).
Nastavená clona:	1/11.
Orientace objektu:	Objekt musí být osvětlován zdola, nebo shora, s maximálním natočením $\pm 15^\circ$

Použitá kamera využívá senzorů CMOS. Ten má obecně lepší potlačení šumu a v dnešní době disponuje poměrně vysokou rychlostí čtení z chipu. Pokud by byla rychlost nevyhovující, lze doporučit použití kamery s chipem CCD. Kamera je umístěna na

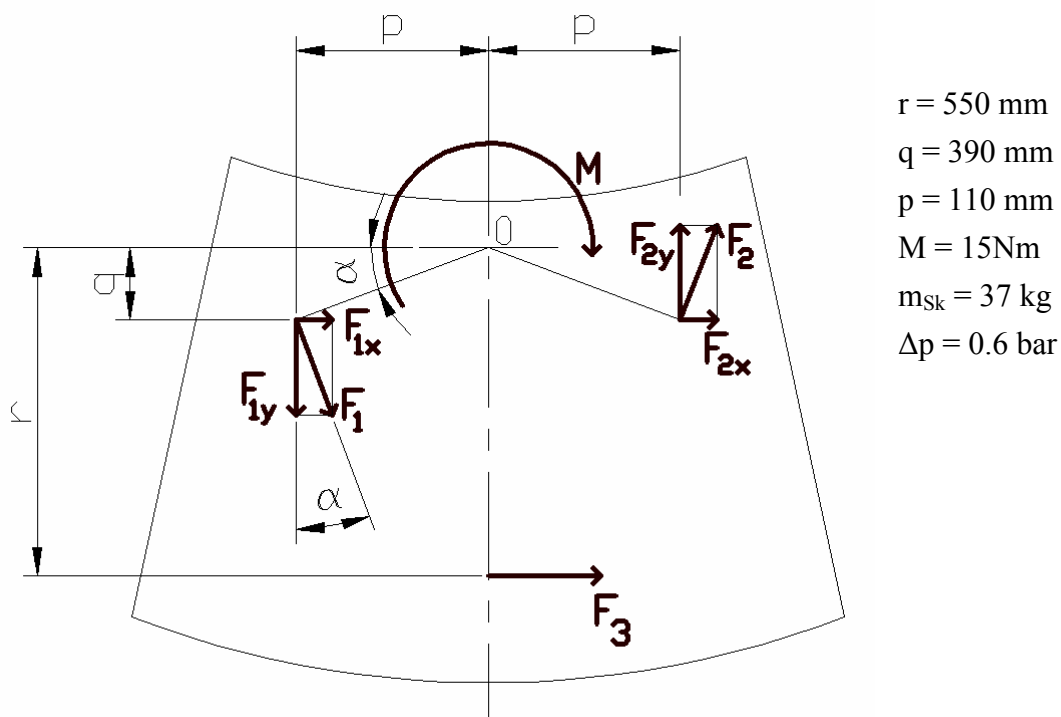
tříosé stativové hlavě Velbon PHD-51Q. Osvětlení je namontováno na konzolovém systému CST 30 dodaném společností Misumi.

3.8 Kontrola nosnosti přísavek

Momentové zatížení aplikované na držák při testování zvýší sílu, kterou je nutné sklo držet. Proto je proveden výpočet kontroly přísavek. Sklo je drženo na 3 přísavkách o průměru $d = 250$ mm. Při statickém držení je pak radiální síla působící na 1 přísavku:

$$F_T = \frac{m \cdot g}{3}. \quad (36)$$

Torzní zatěžování držáku připojí další radiální síly. Tyto reakce jsou označeny na obr. 24 jako síly F_1 , F_2 a F_3 . Působící moment v bodě O je označen M .



Obr. 25 Výpočet únosnosti přísavek

Pro určení velikostí sil bylo užito rovnic statiky

$$\text{I.} \quad x: \quad F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \alpha + F_3 = 0 \quad (37)$$

$$\text{II.} \quad y: \quad F_1 \cos \alpha - F_2 \cos \alpha = 0 \quad (38)$$

$$\text{III.} \quad M: \quad F_2 \cos \alpha \cdot 2x + F_3 r_3 - M_T = 0 \quad (39)$$

Po vyřešení těchto rovnic dostaneme vztah pro F_2 :

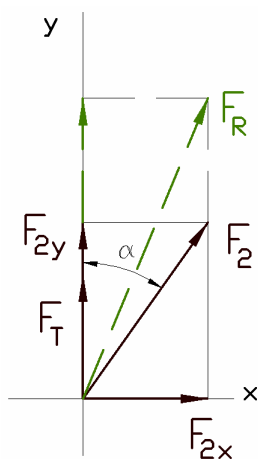
$$F_2 = \frac{M}{2 \cdot (\cos \alpha \cdot p - \sin \alpha \cdot r_3)} = 15 \text{ N} . \quad (40)$$

Úhel α je určen goniometrickým vztahem vycházejícím z rozložení přísavky a držáku:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{q}{p}\right) = \arctg\left(\frac{390}{110}\right) = 1,296 \text{ rad} . \quad (41)$$

Velikost radiální síly je dána vektorovým součtem síly vyvozené tíhovým působením skla F_T a síly vzniklé torzním zatížením držáku. Největší radiální síla bude na přísavce 2 (obr. 25). Z tohoto důvodu je pro další výpočet uvažováno právě síly F_2 . Jak je patrné z obr. 26, velikost radiální síly:

$$F_R = \sqrt{(F_2 \cdot \cos \alpha + F_T)^2 + (F_2 \cdot \sin \alpha)^2} = 126 \text{ N} . \quad (42)$$



Obr. 26 Vektorový součet působících sil

Velikost nutné uchopovací síly je dána vztahem:

$$F_U = k \left(F_{AX} + \frac{F_R}{f} \right) = 755 \text{ N} . \quad (43)$$

Pro zmiňovaný případ vertikálního držení je axiální síla $F_{AX} = 0$. Koeficient bezpečnosti volíme $k = 3$. Koeficient smykového tření je určen výrobcem přísavky $f = 0,5$.

Pro úchopnou sílu platí:

$$F_U = \Delta p \cdot S = \Delta p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} . \quad (44)$$

Upravením vztahu 44 a následným dosazením je vypočtena požadovaná velikost průměru přísavky d :

$$d = \sqrt{\frac{4F_U}{\Delta p \cdot \pi}} = 127 \text{ mm} . \quad (45)$$

V současnosti je robot osazen přísavkami s průměrem 250 mm => Vyhovuje.

3.9 Přehled výkresové dokumentace

- Layout pracoviště 1-DP S04000216-0-0-00
- Testovací stanice 1-DP S04000216-1-0-00
 - Rám 1-DP S04000216-1-2-00
 - Testovací jednotka 2-DP S04000216-1-1-00
 - Příruba k válci 3-DP S04000216-1-1-04
 - Testovací nástavec 3-DP S04000216-1-1-05A
 3-DP S04000216-1-1-05B
 3-DP S04000216-1-1-05C
 3-DP S04000216-1-1-05D
 3-DP S04000216-1-1-05E

4. ZHODNOCENÍ PŘÍNOSU A VYUŽITELNOSTI TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Cílem této kapitoly je zhodnocení navrženého řešení po technické i ekonomické stránce.

4.1 Technické zhodnocení

V souladu se zadáním a výběrem vhodné varianty řešení bylo po důkladné analýze vstupních technických podmínek navrženo testovací zařízení pro kontrolu nalepení držáku zpětného zrcátka na čelním automobilovém skle.

Navržené testovací zařízení umožňuje zkoušení každého nalepeného držáku už během výroby automobilového skla. Stanice byla zkonstruována a integrována do výrobní linky tak, aby došlo k minimálním změnám ve stávajícím běhu linky a v jejím dispozičním rozložení. Navrhované řešení uvažuje 100% kontrolu držáku torzním zatížením. Časový fond je rozdělen tak, aby se manipulace i samotné testování stihlo během jednoho taktu linky.

Kvůli značným nepřesnostem nalepení držáku bylo nutné uvažovat snímání scény průmyslovou kamerou. Provedený experiment sloužící k volbě komponentů a jejich nastavení je popsán v kapitole 1.7.

Při konstrukci testovacího zařízení bylo počítáno s variabilitou výroby. Testovací jednotka je vybavena výměnnou hlavicí. Těchto hlavic je navrženo 5, to je tolik, kolik je používaných typů držáku. Tyto hlavice lze jednoduše vyměnit v době, kdy výroba přechází na nový typ produkovaného skla.

Testování je řízeno jednoduchým PLC. To má také za úkol komunikaci s nadřazeným systémem. Vadná skla jsou automaticky vyřazena na nejbližší možné pozici k dalšímu podrobnějšímu přezkoumání. Systém testování zároveň umožňuje možnost archivace dat a určení statistik kvality nalepení.

V současné době nedochází k testování nalepených držáků během výrobního procesu. Provádí se pouze kontrola náhodně vybraných vzorků, a to ručně, pomocí speciálního momentového klíče. Hlavním přínosem této práce je tedy snížení zmetkovitosti ve výrobě. Vedlejším přínosem je snížení povinností operátora, kterému odpadne ruční kontrola nalepení držáku na vybraných sklech.

4.2 Odhad nákladů

Dobu návratnosti je obtížné stanovit, neboť nejsou k dispozici reálné odhady přínosu v důsledku snížení zmetkovitosti. Přesto je předpoklad dosažení návratnosti reálný. Stoprocentní kontrolou totiž odpadnou náklady spojené s reklamacemi. Do úvahy je potřeba vzít nejen náklady spojené s výměnou skla, ale také náklady spojené s transportem skla od automobilového výrobce.

Pro orientaci byly provedeny tyto kvalifikované odhady cen:

• Rám + periferie	30 000 Kč
• Systém snímání:	
○ průmyslová kamera Blaster	40 000 Kč
○ objektiv	12 000 Kč
○ 3-osý stativ Velbon PHD-51Q	5 000 Kč
○ osvětlení	20 000 Kč
○ konzole	5 000 Kč
• Systém řízení PLC Unitronics	10 000 Kč
• Testovací jednotka	
○ Servopohon Harmonic Drive FHA-17C	70 000 Kč
○ Momentometr Imada DIS-IP50	25 000 Kč
○ Testovací hlavice (ADVU 40, čidlo, příruby)	15 000 Kč
• Vyhodnocovací zařízení (PC + SW)	25 000 Kč
• Příslušenství (elektroinstalace a rozvod tlakového vzduchu)	10 000 Kč
• Oživení a montáž	8 000 Kč

Celkové náklady zvolené varianty testovacího pracoviště jsou dány součtem uvedených dílčích nákladů, tj.

$$C = 275\,000 \text{ Kč.}$$

V případě realizace varianty B1, to jest se speciálním manuálním výměnným systémem by náklady vzrostly o dalších cca 120 000Kč. Varianta A1 s pneumatickým pohonem vychází zhruba o 40 000Kč levněji. Zde je ale potřeba vzít do úvahy náklady spojené s častým seřizováním nastaveného tlaku. Dalším záporem této varianty je nepřesné testování.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá návrhem mechanismu pro automatickou kontrolu úrovně adheze používaných typů držáků zpětného zrcátka čelního automobilového skla. V této práci je také uvažována integrace mechanismu na výrobní linku tak, aby byl schopen testování on-line každého vyrobeného skla.

V první části byl proveden rozbor současného stavu, který poskytl základní požadavky na testovací pracoviště.

Z těchto požadavků byla vytvořena alternativní studie testovacího mechanismu. Finální varianta byla vybrána metodou rozhodovací analýzy.

Vybraná varianta testovacího zařízení je podrobně zpracována ve 3. kapitole. Problém byl vyřešen kooperací robotu s testovacím mechanismem. Kvůli značným nepřesnostem nalepení držáku bylo nutné uvažovat snímání scény průmyslovou kamerou. Jednotlivé části jsou popsány a doplněny technickou dokumentací.

Tato práce slouží jako podklad pro zkvalitnění výrobního procesu firmy AGC Chudeřice a byla podpořena grantem Studentské grantové soutěže Technické univerzity v Liberci č. SGS 2827/115, využívající účelové podpory na specifický vysokoškolský výzkum financovaná Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

PŘEHLED POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Novotný, F.: Základy robotiky. Separáty z připravovaných skript; Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009
- [2] Technické podklady kamery Bastler. Technická dokumentace. KSR TUL
- [3] SCHUNK, Robot accessories, Dostupný z WWW: <<http://www.schunk.de>>.
- [4] Technické podklady firmy FESTO, dostupný z WWW:
<http://www.festo.com/cms/cs_cz/9516.htm>.
- [5] Technické podklady firmy Harmonic Drive, dostupný z WWW:
<<http://www.harmonicdrive.net/products/actuators/fha-c/>>.
- [6] Technické podklady firmy Imada, dostupný z WWW:
<http://www.imada.com/torque_tester_dis-ip.htm>
- [7] Technické podklady firmy Unitronics, dostupný z WWW:
<<http://www.unitronics.com/Content.aspx?page=ProductOverview1>>

Další podklady:

- Novotný F.: Chapadla pro roboty a automatickou manipulaci, Liberec 2009
- Kletečka J., Fořt P.: Technické kreslení. Brno. 2005. ISBN 80-251-0498-2
- Leinveber J., Vávra P.: Strojnické tabulky. Úvaly. 2003. ISBN 80-86490-74-2